



Universidad  
Carlos III de Madrid

**Departamento de TECNOLOGÍA ELECTRÓNICA**

**PROYECTO FIN DE CARRERA**

# **Estudio de las flashlamps y sus circuitos de acondicionamiento**

**Autor: GUILLERMO MORETA MARTÍNEZ**

**Tutores: EMILIO OLÍAS**

**VICENTE SALAS MERINO**

**Leganés, Julio 2011**

# Agradecimientos

En primer lugar quiero agradecer enérgicamente a mis padres José Daniel Moreta y Silvia Martínez por todo el apoyo que he recibido durante toda la carrera, dándome ánimos, aconsejándome y activándome cuando estaba con menos fuerzas. Sin ellos nunca podría haber llegado hasta este momento.

A mis tutores Don Emilio Olías Ruíz y Don Vicente Salas Merino quiero agradecerles por haberme guiado, apoyado, ayudado y haber estado siempre que he tenido alguna duda o pregunta durante todo este tiempo de realización del Proyecto Fin de Carrera.

También quisiera agradecer a todo el grupo de personas que trabajan con energía solar en la universidad por su apoyo y disposición a ayudar durante todo el Proyecto y enseñarme todo lo relacionado con la energía solar.

A todos mis compañeros y amigos conseguidos durante esta etapa de mi vida, haciendo que estos años en la universidad hayan sido increíbles e inolvidables.

No podría finalizar sin darle las gracias a mis 11 mejores amigos de toda la vida, con los que paso muchísimos momentos de mi vida y siempre se han preocupado, me han ayudado y apoyado durante la carrera.

Por último dar las gracias a toda mi familia por el apoyo, y por preocuparse por mí en todo momento, en especial a mis abuelos Juana Salvanés, Ángel Martínez y Asunción Jiménez y a mis cinco hermanos que durante estos años de carrera me han apoyado y ayudado sin descanso.

# Índice

<b>1. Introducción .....</b>	<b>10</b>
<b>1.1. Descripción del proyecto.....</b>	<b>10</b>
<b>1.2. Objetivos .....</b>	<b>11</b>
<b>1.3. Fases del proyecto .....</b>	<b>12</b>
<b>1.4. Medios empleados.....</b>	<b>12</b>
<b>1.5. Estructura del proyecto.....</b>	<b>13</b>
<b>2. Flashlamp y circuitos de acondicionamiento .....</b>	<b>14</b>
<b>2.1. Flashlamp .....</b>	<b>14</b>
<b>2.1.1. Características principales de las flashlamp .....</b>	<b>14</b>
<b>2.1.2. Gas en el interior de la lámpara .....</b>	<b>15</b>
<b>2.1.3. Materiales del cuerpo de las flashlamps .....</b>	<b>16</b>
<b>2.1.3.1. Clear Fused Quartz (CFQ) .....</b>	<b>17</b>
<b>2.1.3.2. Cerium Doped Quartz (CDQ) .....</b>	<b>18</b>
<b>2.1.3.3. Titanium Doped Quartz (TDQ).....</b>	<b>18</b>
<b>2.1.3.4. Synthetic Fused Quartz (SFQ) .....</b>	<b>18</b>
<b>2.1.4. Sellado.....</b>	<b>19</b>
<b>2.1.4.1. Ribbon Seal.....</b>	<b>19</b>
<b>2.1.4.2. Solder Seal .....</b>	<b>20</b>
<b>2.1.4.3. Rod (Graded) Seal .....</b>	<b>21</b>
<b>2.1.5. Electrodos.....</b>	<b>21</b>
<b>2.1.5.1. Ánodo .....</b>	<b>22</b>
<b>2.1.5.2. Cátodo .....</b>	<b>22</b>
<b>2.1.5.2.1. Cátodo de alta carga.....</b>	<b>23</b>
<b>2.1.5.2.2. Cátodo de pulso estándar. ....</b>	<b>23</b>
<b>2.1.5.2.3. Cátodo de aire frío .....</b>	<b>24</b>
<b>2.1.5.2.4. Cátodo de onda continua. ....</b>	<b>25</b>
<b>2.1.6. Consideraciones de refrigeración .....</b>	<b>26</b>
<b>2.1.7. Presión de llenado, Volumen muerto e Impedancia.....</b>	<b>27</b>
<b>2.1.7.1. Presión de llenado .....</b>	<b>27</b>
<b>2.1.7.2. Volumen muerto.....</b>	<b>27</b>
<b>2.1.7.3. Impedancia.....</b>	<b>28</b>
<b>2.2. Circuitos de acondicionamiento .....</b>	<b>30</b>
<b>2.2.1. Circuitos de disparo .....</b>	<b>30</b>
<b>2.2.1.1. Disparo externo .....</b>	<b>31</b>
<b>2.2.1.2. Disparo en serie .....</b>	<b>32</b>
<b>2.2.2. Circuitos de descarga .....</b>	<b>33</b>
<b>2.2.2.1. Condensador de descarga libre .....</b>	<b>33</b>
<b>2.2.2.2. Pulso que forma la red (LC) .....</b>	<b>34</b>



2.2.2.3. Doble tiristor.....	35
2.2.2.4. Operación simmer.....	35
2.2.2.5. IGBT de potencia.....	36
3. Uso de las flashlamp en el mundo comercial.....	37
3.1. Industria del automóvil.....	38
3.2. Industria fotográfica.....	41
3.3. Investigación con luz solar .....	42
3.4. Industria electro-médica .....	43
4. Diseño y desarrollo del circuito de acondicionamiento.....	45
4.1. Balasto para flashlamp de Xenón .....	45
4.1.1. Tipo de circuito .....	46
4.1.2. Valores y medidas del balasto .....	48
4.1.3. Conclusión .....	55
4.2. Diseño en PSIM.....	56
4.2.1. Diseño del circuito de disparo .....	56
4.2.1.1. Simulaciones en PSIM .....	58
4.2.1.1.1. Tensiones.....	58
4.2.1.1.2. Corrientes .....	61
4.2.2. Diseño del circuito de descarga.....	62
4.2.2.1. Simulaciones en PSIM .....	63
4.2.2.1.1. Tensiones.....	63
4.2.2.1.2. Corrientes .....	64
4.2.3. Circuito completo y conclusiones .....	64
4.3. Desarrollo de la placa del circuito .....	66
4.3.1. Construcción del circuito .....	66
4.3.2. Valores y medidas del circuito.....	68
4.3.3. Problemas surgidos y comparación.....	71
4.3.3.1. Comparación .....	71
4.3.3.2. Problemas surgidos.....	72
5. Presupuesto.....	73
6. Conclusiones.....	74
7. Trabajos futuros .....	75
8. Bibliografía.....	76
9. Anexos.....	77
9.1. Datasheet del IGBT .....	77
9.2. Catálogo Hamamatsu flashlamps de xenón .....	85

# Índice de Figuras

Figura 2.1 Dibujo esquemático de una flashlamp.....	14
Figura 2.2 Transmisión Óptica del material de la cubierta .....	17
Figura 2.3 Ribbon Seal.....	19
Figura 2.4 Solder Seal (Sellado por soldadura) .....	20
Figura 2.5 Rod Seal.....	21
Figura 2.6 Cátodo de alta carga.....	23
Figura 2.7 Cátodo de pulso estándar .....	24
Figura 2.8 Cátodo refrigerado .....	24
Figura 2.9 Cátodo de onda continua .....	25
Figura 2.11 Cátodo para modulación de onda continua.....	25
Figura 2.10 Cátodo de onda cuasi continua .....	25
Figura 2.12 Métodos de refrigeración de lámparas.....	26
Figura 2.14 Impedancia en función de la presión .....	29
Figura 2.15 Impedancia en función del diámetro interno de la lámpara .....	29
Figura 2.13 Impedancia en función de la longitud del arco .....	29
Figura 2.16 Gráfica característica del disparo de la flashlamp.....	31
Figura 2.17 Tabla de polaridades .....	31
Figura 2.18 Circuito del disparo externo .....	31
Figura 2.19 Circuito de disparo en serie.....	32
Figura 2.20 Gráfica de tensión frente a corriente en las fases de disparo y descarga .....	33
Figura 2.22 Gráfica de la corriente frente al tiempo.....	33
Figura 2.21 Circuito descarga con condensador de descarga libre.....	33
Figura 2.24 Gráfica corriente frente al tiempo .....	34
Figura 2.23 Circuito de descarga .....	34
Figura 2.26 Gráfica corriente frente a tiempo del circuito con múltiples conexiones LC.....	34
Figura 2.25 Circuito con múltiples conexiones LC.....	34
Figura 2.28 Gráfica de corriente frente tiempo del circuito de doble tiristor .....	35
Figura 2.27 Circuito de descarga con 2 tiristores.....	35
Figura 2.29 Circuito simmer .....	35
Figura 2.31 Gráfica I(t) del circuito con IGBT .....	36
Figura 2.30 Circuito de descarga con IGBT.....	36
Figura 3.1 Flashlamp de Xenón para vehículos.....	38
Figura 3.2 Balasto para las flashlamp para vehículos.....	38
Figura 3.3 Gama de colores de las flashlamp de xenón para coche .....	39
Figura 3.4 Flashlamp de Xenón para vehículos.....	40
Figura 3.5 Haz de luz entro del faro de un coche.....	40
Figura 3.6 Lámpara de xenón fotográfica .....	41

Figura 3.7 Comparativa longitudes de onda de la luz solar frente a la de una flashlamp de xenón.....	42
Figura 3.8 Fotodepilación.....	43
Figura 3.9. Aplicación electromédica con flashlamp.....	43
Figura 3.10 Laser dental .....	44
Figura 4.1 Caja kit faros de xenón .....	45
Figura 4.2 Color del haz de luz de 8000K .....	46
Figura 4.3 Interior de la caja del kit faros de xenón.....	46
Figura 4.4 Parte superior del circuito del balasto .....	46
Figura 4.5 Parte inferior del circuito del balasto.....	47
Figura 4.6 Resistencias integradas en la placa. ....	47
Figura 4.7 Transformador 1.....	48
Figura 4.8 Tranformador de disparo .....	48
Figura 4.11 Fuente de alimentación.....	48
Figura 4.10 Osciloscopio.....	48
Figura 4.9 Montaje del balasto y flashlamp .....	48
Figura 4.12 Sonda de potencia del osciloscopio .....	49
Figura 4.13 Tensión entre los nornes de la flashlamp nada mas encenderse .....	49
Figura 4.14 Tensión entre los bornes de la flashlamp transcurrido unos segundos desde su activación. ....	50
Figura 4.16 Tensión entre los bornes de la lámpara pasados un tiempo hasta estabilizarse.....	51
Figura 4.15 Tensión entre los bornes de la flaslamps con una mayor corriente de entrada.....	51
Figura 4.17 Puntos de conexiones de las sondas en el primario y secundario del transformador .....	52
Figura 4.18 Tensión en el primario del transformador de disparo .....	52
Figura 4.18A Tensión en el primario del transformador de disparo .....	53
Figura 4.19 Tensión en el secundario del transformador de disparo .....	53
Figura 4.20 Tensión en la flashlamp (morado) y tensión en el primario del transformador de disparo.....	54
Figura 4.21 Flashlamp activada por el balasto .....	55
Figura 4.22 Circuito de disparo .....	57
Figura 4.23 Tensión V9 .....	58
Figura 4.24 Tensión V1 y tensión V9 .....	58
Figura 4.25 Tensión V5 y tensión V9 .....	59
Figura 4.26 Tensión V8 y tensión V9 .....	59
Figura 4.27 Tensiones V2 y V5.....	60
Figura 4.28 Corriente I4 y tensión V9.....	61
Figura 4.29 Corriente I5 y tensión V9.....	61
Figura 4.30 Circuito de descarga .....	62
Figura 4.31 Tensión V3 .....	63
Figura 4.32 Tensión V7 y V9 .....	63
Figura 4.33 Corriente $I_{C2}$ .....	64
Figura 4.34 Circuito completo para flashlamp .....	64
Figura 4.35 Tensión en el secundario del transformador V2 y tensión en la lámpara V3 invertida .....	65



Figura 4.37 MOSFET IRF 830 .....	66
Figura 4.36 Reóstato .....	66
Figura 4.39 flashlamp .....	66
Figura 4.40 Generador de funciones.....	66
Figura 4.38 Transformador de disparo.....	66
Figura 4.41 Montaje del circuito de disparo .....	67
Figura 4.42 Valores fuente de alimentación .....	68
Figura 4.43 Tensión proporcionada por el generador de funciones o $V_{GS}$ .....	68
Figura 4.44 Tensión $V_{DS}$ .....	69
Figura 4.45 Tensión en el primario del transformador (líneas en amarillo). Los parámetros son 5 Voltios por división.....	69
Figura 4.46 Tensión en el secundario del transformador. Los parámetros del osciloscopio 250 Voltios por división.....	70
Figura 4.47 Comparación entre las tensiones $V_{DS}$ .....	71
Figura 4.48 Comparación entre las tensiones en el primario y secundario del transformador .	72

# Acrónimos y unidades

## A

A Amperios

## C

C Condensador, capacidad

°C Grados centígrados

CDQ Cerium Doped Quartz

CFQ Clear Fused Quartz

Cm Centímetros

CW Onda continua

## H

HID High Discharge Intensity

## I

IGBT Insulated Gate Bipolar Transistor

## K

K kelvin

Kr Kriptón

KV kilovoltio

KW Kilovatio

KΩ Kilohmio

K<sub>0</sub> Impedancia de la flashlamp

## L

L Bobina, inductancia

LED Light Emitting Diode

Lm Lúmenes

## M

mA miliamperio

mm milímetro

MOSFET Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor

MΩ Megaohmio

## N

nm nanómetros

## P

PFN Pulse Forming Network

PSIM Power Simulation and Implementation

## R

R Resistencia

## S

Silicon Controlled

SCR Rectifier

SFQ Synthetic Fused Quartz

## T

TDQ Titanium Doped Quartz

Torr Milímetro de mercurio

## U

UV ultravioleta

## V

V Voltio

## W

W vatio

## Ω

Ω Ohmio

## n

nF Nanofaradio

## μ

μF Microfaradio

μs Microsegundo



# Índice de palabras en inglés

## A

---

**Arc lengt:** Longitud del arco

## C

---

**Cerium Doped Quart:** Cuarzo dopado con Cerio

**Clear Fused Quartz:** Cuarzo fundido

## F

---

**Flashlamp:** Lámpara de destellos

**Flipflash:** Agrupación de 10 lámparas

**Fill pressure:** Presión de llenado

## I

---

**Inner diameter:** Diámetro interno

## R

---

**Ribbon Seal:** Sellado de cinta

**Rod (Graded) Seal:** Sellado de la varilla

## S

---

**Solder Seal:** Sellado de soldadura

**Spark:** Chispa

**Synthetic Fused Quartz:** Cuarzo sintético

## T

---

**Titanium Doped Quartz:** Cuarzo dopado con titanio

# 1. Introducción

## 1.1. Descripción del proyecto

Este proyecto trata sobre las lámparas de destellos llamadas “flashlamps”. Son un tipo de lámparas rellenas de un gas noble (Xenón o Kriptón) y construidas de cuarzo con un ánodo y un cátodo. Al aplicar un pulso de alta tensión entre el cátodo y el ánodo, el gas del interior se ioniza y se produce un arco entre ellos que provoca la activación de la lámpara. Las “flashlamps” resultan muy útiles para comprobar las cualidades y resultados de distintas células fotovoltaicas. Además estas lámparas son capaces de conseguir unas longitudes de onda muy parecidas a las de la luz del sol, en un intervalo de tiempo muy corto. Para lograr ese pulso de alta tensión y conseguir el encendido de la lámpara es necesario un circuito de disparo, un circuito de descarga y un transformador de disparo que consigan elevar la tensión de disparo entre 10 – 35 KV (dependiendo de las características de la lámpara). Posteriormente mantener una tensión menor en la lámpara encendida durante un tiempo establecido.

Para conseguir realizar el diseño de los circuitos de disparo y descarga ha sido necesario obtener información en las distintas casas de fabricantes de este tipo de lámparas, información imprescindible para hacerse una idea de cómo deben ser los circuitos y las cualidades que tienen las distintas lámparas. En concreto, los fabricantes estudiados y analizados han sido Pekirelmer, Heraeus, Hatmamatsu. También sondeamos en el mercado comercial las distintas lámparas de destellos más económicas, ya que la lámpara de descarga y el transformador de disparo pueden llegar a ser muy caros si los compras por separado y a la carta a una empresa especializada (como las citadas antes). Entre todos ellos se consiguió un kit de lámparas de xenón de un coche, en el que incluye también los balastos que consiguen encender y mantener activadas las lámparas de descarga. Una vez con estos objetos, se observarán, medirán, experimentarán y se realizará ingeniería inversa para ver cómo funcionaban.

Con los componentes de este kit se han construido los circuitos de disparo y descarga para la lámpara del kit. Estos circuitos se diseñaron con el programa de diseño electrónico PSIM. Al no saber las características de la lámpara, había que hacer un proceso de diseño experimental probando con distintos valores. Sucede el mismo problema con los transformadores de

disparo, ya que son unos componentes hechos especialmente para este kit de lámparas de xenón.

## 1.2. Objetivos

El objetivo de este proyecto es conseguir la experiencia e información suficiente sobre las lámparas de destello o “flashlamps” y , con ello, ser capaz de diseñar un circuito de descarga y otro circuito de disparo para conseguir encender la lámpara de descarga y mantenerla luciendo durante el tiempo requerido, así como poder encenderla a distintas frecuencias y tensiones.

Además de este Objetivo Principal, considero necesario destacar los siguientes fines adicionales que configuran y dan forma al Proyecto :

- Diseño de los circuitos de descarga y de disparo de forma teórica.
- Elegir una lámpara de descarga económica que sea fácil de obtener dentro del mercado doméstico.
- Montar, experimentar y realizar ingeniería inversa al balasto que contiene el circuito de disparo y circuito de descarga, y a la “flashlamp” comercial que viene con dichos circuitos (todo ello es un kit de lámparas de Xenón para un coche).
- Construir, a partir de algunos componentes del kit de lámparas de Xenón (“Flashlamp” y transformador de disparo), los circuitos de disparo y descarga para controlar la lámpara de destellos.
- Medir y experimentar con el circuito diseñado y la “flashlamp” obtenida del Kit de lámparas de Xenón.

## 1.3. Fases del proyecto

Las fases del Proyecto fin de carrera son las siguientes cinco:

- 1) Obtener la mayor información sobre las “flashlamps” y sobre los circuitos de disparo y de descarga.
- 2) Diseñar los circuitos de descarga y de disparo de forma teórica con el PSIM.
- 3) Sondear e informarse sobre las lámparas de descarga más económicas y que sean fácil de adquirir.
- 4) Analizar, medir, experimentar y realizar ingeniería inversa a un circuito de disparo, circuito de descarga y una “flashlamp” comercial.
- 5) Construir, a partir de algunos componentes del circuito comercial (“Flashlamp” y transformador de disparo), los circuitos de disparo y descarga para controlar la lámpara de destellos. Medir y experimentar con este circuito y la “flashlamp”.

## 1.4. Medios empleados

Los medios empleados para la realización del Proyecto se pueden dividir en:

- Informáticos: se ha empleado el programa de diseño electrónico PSIM, Microsoft Office, información e imágenes de internet.
- Instrumentación de medida: Osciloscopio, polímetro, sondas de medida.
- Instrumentación de montaje: Soldador, des-soldador, placa de puntos, alicates, cúter, destornilladores, pinzas.
- Fuentes de energía: fuente de alimentación, generador de funciones.
- Lugares: el lugar empleado ha sido el laboratorio de potencia.

## 1.5. Estructura del proyecto

El proyecto se estructura en ocho capítulos principales, los cuales se detallan a continuación:

- El primer capítulo es el de Introducción, en el cual se explica de una forma menos detallada el tema del Proyecto fin de carrera que se ha realizado y trabajado durante el periodo de ejecución del proyecto. También se explica cómo se va a estructurar y los objetivos que se plantean al iniciarlo.
- En el segundo capítulo se detalla todo lo necesario de las flashlamps, características principales, tipos y parámetros importantes para la elección de una flashlamp. También en este capítulo se trata todo lo relacionado con los circuitos de acondicionamiento para las flashlamp o lámparas de destello y los distintos tipos de circuitos de descarga y de disparo.
- El tercer capítulo muestra los distintos usos de las lámparas de destellos en las distintas industrias donde es necesaria su utilización.
- En el cuarto capítulo nos adentramos en el desarrollo de nuestros propios circuitos de acondicionamiento de una flashlamp, así como también en el estudio de una lámpara de descarga y un circuito de acondicionamiento comercial para un vehículo de motor.
- En el quinto capítulo se exponen las conclusiones obtenidas durante la realización y finalización del Proyecto Fin de Carrera.
- En el sexto capítulo se propondrá trabajos futuros a partir de este o sobre este tema.
- El séptimo capítulo incluye la bibliografía consultada
- Y el octavo y último capítulo son los anexos, donde se incluye información sobre algún tema para complementar lo expuesto en la memoria.

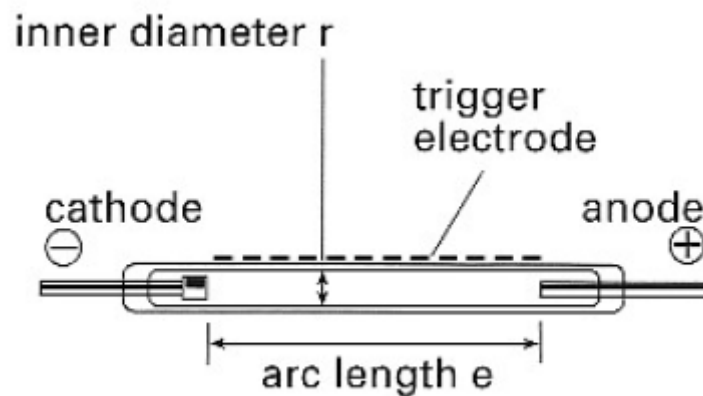
## 2. Flashlamp y circuitos de acondicionamiento

### 2.1. Flashlamp

#### 2.1.1. Características principales de las flashlamp

Las tres características claves de las flashlamp son las siguientes:

- Longitud de arco: " $e$ "
- El diámetro interno del tubo: " $r$ "
- Fill pressure (presión de llenado): " $p$ "



*Figura 2.1 Dibujo esquemático de una flashlamp*

Clasificación según la relación  $e/r$ :

- $e/r < 5$ : Tubos de electrodos estabilizados. Pulsos cortos y aplicaciones de alta luminiscencia.
- $e/r > 5$ : Tubos estabilizados de pared. La mayoría  $5 < e/r < 10$ . Una mayor eficiencia en este rango.
- $10 < e/r < 20$ : alta impedancia interna, larga duración de descarga.

Hay que tener en cuenta que a mayor fill pressure (presión interna de la lámpara) la eficiencia lumínica es mayor, pero baja la facilidad de disparo de la flashlamp.



## 2.1.2. Gas en el interior de la lámpara

Las flashlamp suelen rellenarse por 2 tipos de gas, Kriptón y Xenón:

- **Kriptón:** es un elemento de la tabla periódica cuyo símbolo es “Kr”. Es un gas noble inodoro e insípido de poca reactividad, caracterizado por un espectro de líneas verde y rojo-naranja muy brillantes. Se suele utilizar en densidades de potencia baja. El kriptón proporciona una mejor adecuación de **Nd: YAG**<sup>1</sup> que el xenón. Esto se debe a la excelente coincidencia entre las bandas de absorción de YAG y la línea de la radiación del Kriptón a baja densidad de potencia. Las bandas de absorción de un material muestra la fracción de la radiación electromagnética incidente que un material absorbe dentro de un rango de frecuencias. Cada elemento químico posee líneas de absorción en algunas longitudes de onda, hecho que está asociado a las diferencias de energía de sus distintos orbitales atómicos.
- **Xenón:** elemento de la tabla periódica cuyo símbolo es “Xe”. Es un gas noble, inodoro e insípido. Puede producir luz con un buen equilibrio de todos los colores del espectro visible y pueden ser utilizadas 10000 veces o más antes de quemarse. Al igual que todos los gases ionizados, las flashlamps de xenón emiten luz en diferentes líneas espectrales. El espectro emitido por las flashlamps es mucho más dependiente de la densidad de corriente que de la presión de llenado o el tipo de gas. El xenón tiene muchas líneas espectrales en ultravioleta, azul, verde, rojo y en algunas partes del espectro de infrarrojos. Las bajas densidades producen un destello de color azul verdoso, lo que indica la ausencia significativa de amarillo o líneas de color naranja. Debido a que es altamente eficiente generando luz blanca, el xenón se utiliza ampliamente en aplicaciones fotográficas, todo ello a pesar de su gran coste.

<sup>1</sup> Nd: YAG Es una emisión láser en medio sólido que utiliza el dopaje con neodimio de cristales de óxido de itrio y aluminio ( $\text{Nd:Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ ), una variedad de granate, para la amplificación de su radiación de longitud de onda característica de 1064 nanómetros, en el infrarrojo.



### 2.1.3. Materiales del cuerpo de las flashlamps

El cuerpo de cuarzo de una lámpara o envoltura de sílice fundido, como es más bien conocida, rodea a la lámpara y realiza una importante función en el mantenimiento del gas nobles (Kriptón o Xenón) que forma el arco de la lámpara.

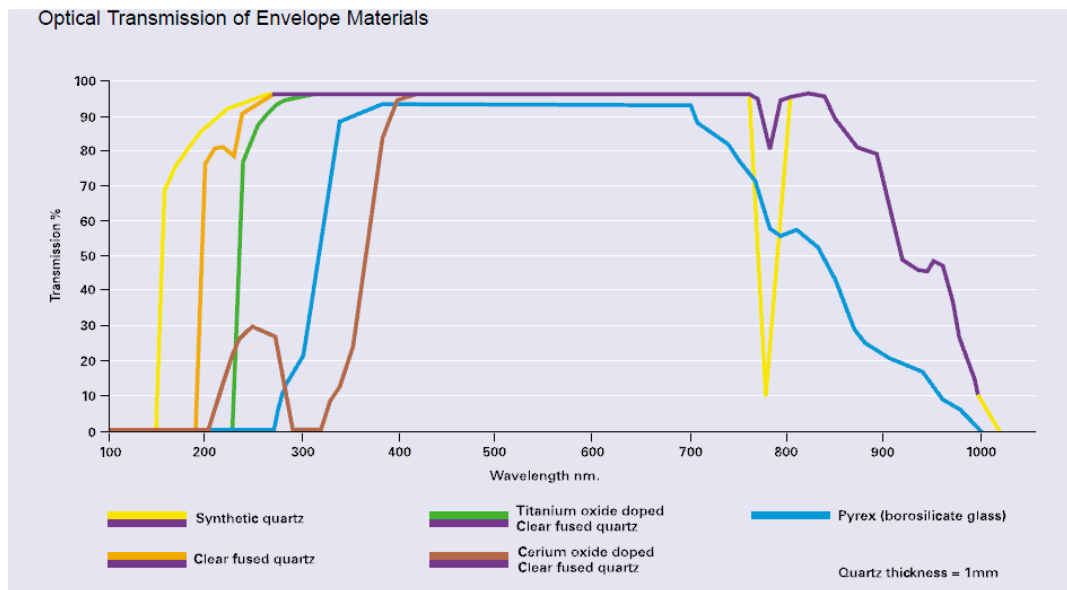
De hecho, se podría decir que ésta no es una tarea fácil. El material utilizado no puede reaccionar ni con el gas interno, ni con el medio ambiente exterior. Tiene que ser lo suficientemente fuerte como para soportar el procedimiento de instalación de la lámpara, así como las temperaturas y presiones extremas a las que la lámpara será sometida durante la operación. Además, no debe limitar la salida de luz de la lámpara, a menos que se trate de un requisito específico; en tal caso debe hacerlo en unas longitudes de onda predefinidas. Por último, la aportación del material debe ser económica para que no afecte negativamente al coste del componente.

Es posible fabricar una lámpara de boro silicato, aunque esta opción no es escogida a menudo por los diseñadores. El boro silicato sólo puede ser utilizado cuando hay energías bajas, donde el aumento de la temperatura sobre el cuerpo de la lámpara durante la operación es mínimo. Con cuarzo se logra el menor aumento de temperatura. El cuarzo es altamente tolerante a los choques térmicos. Estando el cuarzo al rojo vivo puede ser sumergido en agua fría sin producirse ningún daño, teniendo, eso sí, un alto punto de fusión (1300 ° C).

Como no hay ninguna ventaja significativa del boro silicato frente al cuarzo en esta aplicación, y no hay una diferencia real en el costo del producto final, hay pocas razones para la selección de boro silicato en vez de cuarzo.

Hay tres grupos principales de tipos de cuarzo utilizados en la construcción de las flashlamp, Clear Fused Quartz, Doped Quartz, Synthetic. Aunque todos ellos tienen propiedades físicas similares en cuanto a la temperatura y la fuerza, se diferencian en su respectiva transmisión al final del espectro Ultravioleta, entre 200 y 1000 nm (véase figura 2.2).





**Figura 2.2 Transmisión Óptica del material de la cubierta**

### 2.1.3.1. Clear Fused Quartz (CFQ)

Este material es el componente básico para la mayoría de flashlamps, su nombre traducido al español es "*cuarzo claro fundido*". Tiene una temperatura límite máxima de funcionamiento de aproximadamente 600 °C y es fácilmente disponible en una amplia gama de tamaños. El rango de transmisión de UV comienza aproximadamente a 220 nm y acaba a 1000 nm, véase en la Figura 2.2.

La única gran desventaja del **Clear Fused Quartz** viene de la mano del problema de la solarización. Esta es la aparición de una decoloración púrpura debido a la formación de centros de color dentro del cuarzo. Los centros de color son las localizaciones de impurezas de iones. Estas impurezas se cree que son de iones de aluminio, germanio y algunos compuestos. La solarización afecta en una reducción del ancho de banda en la transmisión del cuarzo.

Los centros de color generalmente se forman durante una operación con alta energía en las flashlamps. No suele ocurrir en condiciones de baja potencia.

Muchas flashlamps bombean sistemas de láser que usan cubiertas hechas de **Clear Fused Quartz**. En general, no es posible predecir si una determinada operación con lámparas es más susceptible a la solarización. Si

se presenta problema de la solarización existen otros tipos de cuarzo disponibles para solventar el problema señalado.

### 2.1.3.2. Cerium Doped Quartz (CDQ)

Como su propio nombre indica, **Cerium Doped Quartz** es simplemente **Clear Fused Quartz** fusionado con dopaje de óxido de Cerio. Aunque sea una pequeña diferencia, se obtienen grandes resultados. En la figura 2.2 se puede ver que el dopaje provoca que la longitud de onda de UV en el espectro de emisión se amplíe. El **CDQ** detiene el daño a otros componentes de la lámpara debido a la luz emitida en estas longitudes de onda. En aplicaciones con aire enfriado, el **CDQ** también previene la producción de ozono, con lo que no es necesaria la ventilación externa. Además, como la luz UV es inhibidora, hay una mínima solarización en el material de la envoltura de la lámpara. Una última ventaja de **CDQ** es que la absorción de UV se acompaña de la fluorescencia del cuarzo en el espectro visible. Esta fluorescencia cae en la banda de absorción de la barra de láser, lo que conduce a una mayor eficiencia de bombeo. Es muy recomendable para una aplicación de láser de bombeo.

### 2.1.3.3. Titanium Doped Quartz (TDQ)

El **Titanium Doped Quartz** es **Clear Fused Quartz** dopado con óxido de titanio. El TDQ está disponible en muchos grados diferentes, cada uno con un corte diferente en el perfil UV. Tiene características similares a las de **Cerium doped Quartz**, pero sufre mucho con la solarización y no tienen la característica de fluorescencia. Sin embargo, es frecuente su utilización en rayos médicos y lámparas solares y no para flashlamps láser donde el ozono se tiene que evitar.

### 2.1.3.4. Synthetic Fused Quartz (SFQ)

El cuarzo sintético difiere de los anteriores tipos mencionados en que se hace sintéticamente con compuestos de silicio, tales como tetracloruro de silicio ( $\text{SiCl}_4$ ). El **SFQ** es excepcionalmente puro y transmiten longitudes de onda UV, incluso en mayor medida que el material de **Clear Fused Quartz**. También resiste mejor la solarización que cualquier otro cuarzo y se usa en aplicaciones como la fotoquímica, fotólisis, fluorimetría y espectrofotometría, aplicaciones donde se requieren unas longitudes de

onda de UV menores. A la vista de lo expuesto, y como era de esperar, este cuarzo es el más caro de entre los disponibles.

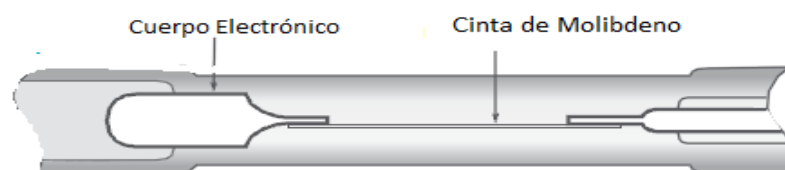
## 2.1.4. Sellado

En la fabricación de una flashlamp, independientemente del tipo de lámpara, es importante que el producto final sea una estructura totalmente hermética, es decir, la dotación de cuarzo y el montaje de los electrodos deben sellar herméticamente el gas. Los sellados de uso más común en la construcción de las lámparas flashlamp son tres: Ribbon Seal (sellado de la cinta), Solder (End cap) Seal (sellado por soldadura), y Rod (Graded) Seal (Sellado de la varilla).

### 2.1.4.1. Ribbon Seal

Con este sellado, el cuarzo está unido directamente a una fina tira de papel de molibdeno. Esta delgada franja es necesaria para prevenir el agrietamiento de la junta. Como no hay cristales de sellado intermedio, se usa todo el potencial térmico del cuarzo que puede ser empleado. También es un sellado muy robusto y fuerte.

Una de las ventajas del sellado de la cinta es que las lámparas construidas con esta técnica tienen el mínimo de volumen muerto. En cualquier caso, la importancia de esto se discutirá y analizará más adelante. El sellado de la cinta ha sido ampliamente empleado en la fabricación de mercurio de alta presión de xenón compacto en lámparas de arco. Algún fabricante utiliza **Ribbon Seal** para una serie de lámparas de arco de kriptón. La limitación y las desventajas de las lámparas con el sellado Ribbon Seal consiste en el pico bajo de corrientes RMS que se puede pasar a través de las cintas de molibdeno fino utilizadas en los sellos. Precisamente esto último nos lleva a la conclusión de que no se utilicen en flashlamps de pulsos. Véase figura 2.3.

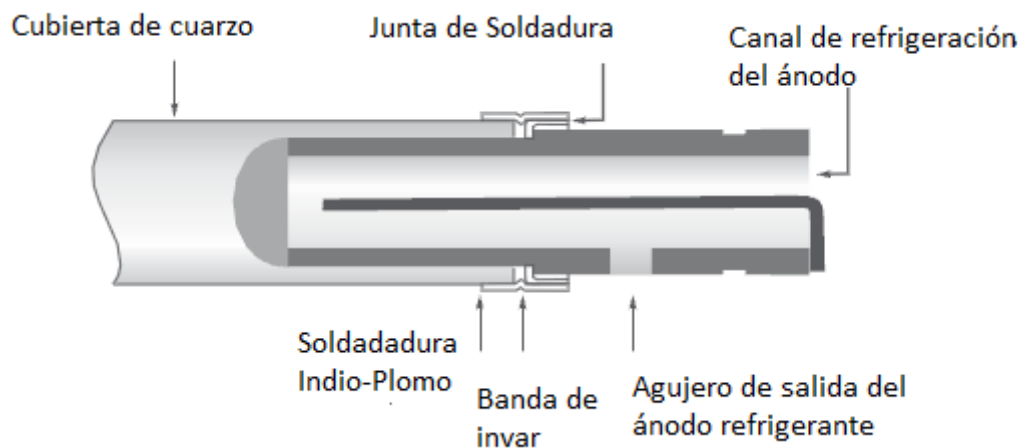


**Figura 2.3 Ribbon Seal**

## 2.1.4.2. Solder Seal

El sellado de **Solder Seal** utiliza una técnica que consiste en un enlace entre una banda circular de invar<sup>2</sup> y el tubo de cuarzo, que es la cubierta de la lámpara. El sellado se realiza mediante una soldadura de plomo-indio con un punto de fusión de 350 ° C. Al igual que el **Ribbon Seal**, las lámparas se pueden construir con un volumen muerto muy pequeño. Otras ventajas son la alta resistencia mecánica de este sellado frente a otros y una muy alta capacidad de pico de corriente, la más alta de todos los tipos de sellado.

La desventaja de **Solder Seal** es su baja temperatura de servicio, por lo general de 100 ° C. Esto no sólo afecta a las condiciones operativas de la lámpara, sino también previene cualquier alta temperatura en el proceso de vacío durante la fabricación. Además, la larga vida útil es cuestionable debido a la porosidad de la soldadura del sellado. El **Ribbon Seal** y el **Rod Seal** tienen una vida útil casi ilimitada. Véase figura 2.4 .



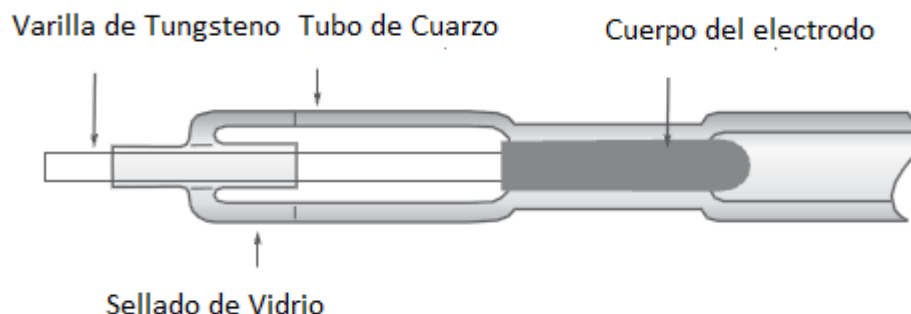
**Figura 2.4 Solder Seal (Sellado por soldadura)**

<sup>2</sup> **Invar**<sup>1</sup>: también llamado **FeNi36** o **nivarox**, es una aleación de hierro (64%) y níquel (36%) con muy poco carbono y algo de cromo.

### 2.1.4.3. Rod (Graded) Seal

El **Rod (graded) Seal**, que significa en español “sello de la varilla”, es de lejos el más usado de los sellados de la lámpara. El **Rod Seal** se crea al humedecer un cristal sellado directamente sobre la superficie no oxidada de un alambre de tungsteno, por lo que también se llama Bright Seal (Sello brillante).

Esta técnica de sellado permite una alta temperatura y un proceso de alto vacío durante la fabricación, asegurando una lámpara que tenga el rendimiento y la fiabilidad que demanda la industria. El sellado puede soportar el funcionamiento a largo plazo operando en unas temperaturas por encima de 250° a 600° durante periodos cortos, pudiendo soportar también altos picos y corrientes RMS. El sello de la varilla se ha convertido en la industria estándar de alto rendimiento, lámparas de arco continua y pulsada. Véase 2.5.



**Figura 2.5 Rod Seal**

### 2.1.5. Electrodo

En la lámpara, la transformación de la energía eléctrica en un emisor de luz de plasma se lleva a cabo en los electrodos. El componente más importante en una lámpara de flashlamp es el cátodo. El ánodo en comparación, provee los criterios necesarios de diseño y tiene menos importancia en la vida útil de la flashlamp. La elección de los materiales utilizados en la fabricación de electrodos para flashlamps y lámparas de arco



tiene que realizarse con sumo cuidado. En el ánodo, la principal preocupación es el poder de carga debido a un bombardeo de electrones proveniente del arco. Por su parte, el cátodo debe ser capaz de suministrar una cantidad adecuada de electrones (baja función de trabajo) sin dañar su superficie (pulverización catódica).

### 2.1.5.1. Ánodo

El más simple de los electrodos es el ánodo, hecho de tungsteno de alta pureza dopado con óxido de lantano. El dopante ayuda a la mecanización del electrodo que de otro modo sería difícil (el tungsteno puro es muy frágil). El propósito principal del ánodo es recibir la carga emitida por el cátodo y, por lo tanto, cerrar el circuito eléctrico.

Se debe tener cuidado al considerar la forma. El ánodo debe tener una gran área en la punta que sea proporcional con la potencia que este recibe. También debe tener una forma que mantenga el arco en todo momento en el centro de la lámpara. Cuando el arco se desvía y se acerca demasiado al cuarzo, se produce una alta carga térmica que rápidamente reduce la edad del cuarzo y disminuye la vida útil de la lámpara.

### 2.1.5.2. Cátodo

Los cátodos son normalmente contruidos utilizando algún tipo de método de depósito. Esto suele tomar la forma de una matriz porosa de tungsteno rellena de un compuesto basado en bario para dar una baja función de trabajo. La mayoría de los fabricantes tienen sus propios métodos para la producción de cátodos, aunque la mayoría de estos métodos son desarrollados a partir del cátodo original de **Philips**. Por ejemplo, uno de estos métodos tiene lugar cuando el polvo de tungsteno esta suelto y es comprimido bajo enormes presiones, controlándose con suma exactitud. Después esta superficie de tungsteno es impregnada de un dopante, de nuevo con exactitud en la cantidad. El dopante es un polvo que tiene una función de trabajo baja para facilitar la emisión de electrones, así se reduce la temperatura del cátodo y se alarga la vida del cátodo (Método de **Heraus Noblelight**).

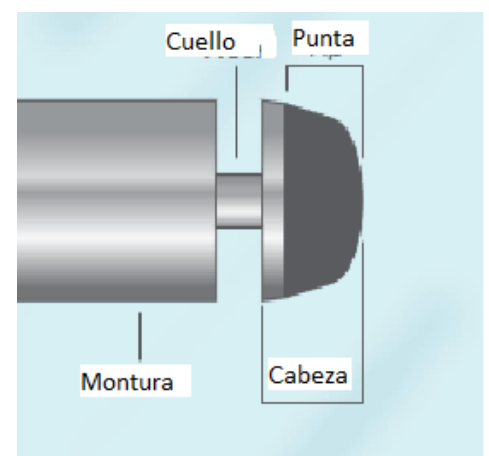
Hay muchas variaciones del cátodo disponibles entre las que el diseñador de la lámpara puede elegir, cada una de ellas con una característica particular, por lo que es el apropiado para una aplicación en concreto. Por ejemplo, el diseñador puede especificar un cátodo que tiene

una abundante disponibilidad de compuestos emisores para el uso en una lámpara de arco de corriente continua. En cambio, cuando se especifica un cátodo para una aplicación de un pico de alta potencia, el indicado es un cátodo con una cantidad limitada de compuestos emisores. Los cátodos deben ser escogidos con sumo cuidado para la operación en un régimen de milisegundos, ya que el arco puede quitar una gran cantidad de material del cátodo y acortar, por ello, drásticamente la vida de la lámpara.

Tipos de cátodos:

#### 2.1.1.2.1. Cátodo de alta carga.

Esta innovadora tecnología, inventada por **Heraeus Noblelight**, permite a los ingenieros de diseño poder ajustar la temperatura de la superficie del emisor de un cátodo para un óptimo rendimiento. Cuando las lámparas funcionan con una onda cuadrada, la fuente de alimentación puede ser propensa a un envejecimiento prematuro. Esto se debe a los ciclos térmicos en la punta del cátodo. Se produce por el tiempo relativamente largo de los períodos entre los pulsos de alta potencia. El diseño del cátodo de alta carga desarrollado por **Heraeus Noblelight** limita los ciclos térmicos y el envejecimiento gracias a la incorporación de una estrangulación térmica en el cuello del cátodo. Esto restringe el flujo de energía térmica fuera del cátodo entre pulsos y la estabilización de la temperatura. Al variar la anchura del cuello del cátodo, la temperatura de funcionamiento del cátodo se puede mover a través de un rango hasta lograr una óptima. Véase figura 2.6.

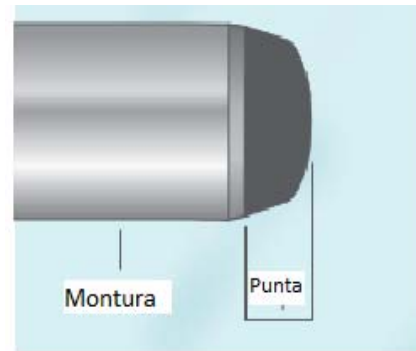


**Figura 2.6 Cátodo de alta carga**

#### 2.1.1.2.2. Cátodo de pulso estándar.

El cátodo de pulso estándar es el mismo que el anterior, si bien se diferencia en que no tiene el disipador térmico (Figura 2.7). Además, en la fabricación, los procesos son ligeramente diferentes a la hora de optimizar el rendimiento. Este cátodo se ha desarrollado específicamente para su uso en sistemas que utilicen una Pulse Forming Network (PFN) como fuente de alimentación.

El diseño de esta fuente se diferencia de una fuente de onda cuadrada en que en lugar de utilizar electrónica de alta potencia para manipular la forma de onda de la energía, se utiliza un banco de condensadores e inductores. Estos se cargan y luego son descargados a través de la lámpara para formar el pulso. Las fuentes de alimentación PFN generalmente entregan pulsos de más baja potencia que las de una fuente de onda cuadrada. Los pulsos tienen una forma de onda curva (media sinusoidal) más que una forma cuadrada. La forma exacta del pulso depende de la amortiguación ( $\alpha$ ) del circuito (véase 2.2.2.2).

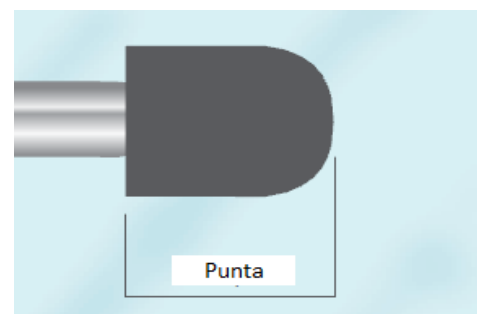


**Figura 2.7 Cátodo de pulso**

Además de tener una energía más baja, los pulsos generados por una red de PFN tienden a ser más cortos, con un ancho de pulso medido en un rango de microsegundos en lugar de en milisegundos. En caso de que se aplique a la lámpara una energía más baja, con alta frecuencia y de pulsos cortos, la carga térmica por pulso es mucho menor que la que se observa en una aplicación con un cátodo de alta carga y, por lo tanto, el cambio de temperatura del cátodo entre los pulsos es mucho menor. La tensión en el material del cátodo causada por la oscilación térmica es considerablemente reducida y el uso de un disipador térmico no es necesario. Véase figura 2.7.

### 2.1.1.2.3. Cátodo de aire frío.

Este cátodo (figura 2.8) es un derivado del cátodo de pulso estándar. Se suele emplear en las lámparas utilizadas en aplicaciones de baja potencia, donde el aumento de la temperatura de la lámpara durante el funcionamiento sigue siendo mínimo. Requieren poca o ninguna refrigeración, en todo caso no más que un flujo de aire local. El uso de una gran



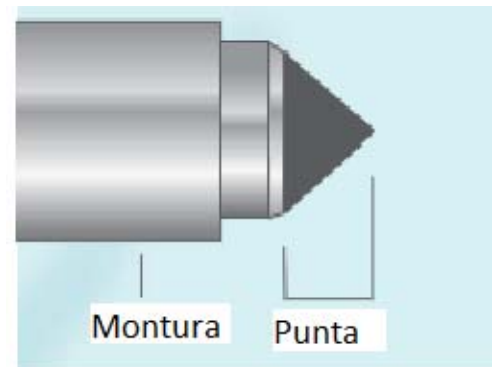
**Figura 2.8 Cátodo refrigerado**

montura de tungsteno para proporcionar un disipador de calor de la punta del cátodo es, por lo tanto, innecesario, ya que la radiación térmica a través del cuerpo de cuarzo mantendrá el electrodo a un nivel de temperatura aceptable. En pocas palabras, en el caso de lámparas con refrigeración, la montura es completamente omitida y la punta es soldada en el alambre de tungsteno.



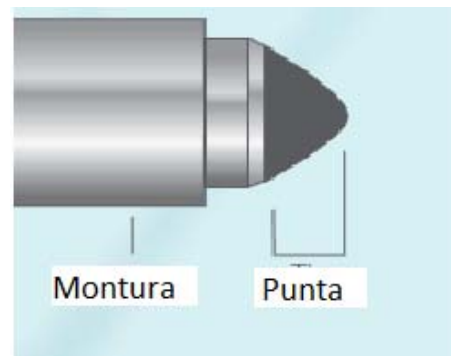
#### 2.1.1.2.4. Cátodo de onda continua.

El cátodo en la *figura 2.9* es el estándar para aplicaciones de CW (Continuous wave, es decir, onda continua) donde la forma de onda de la corriente de la lámpara es plana, continua y con poco o ningún cambio durante la operación. Este diseño mantiene el arco en el centro de la lámpara durante la operación. El ángulo del cátodo ha sido también diseñado específicamente para que, durante la operación, la punta se mantenga en la temperatura óptima para una emisión eficiente y conseguir, así, la máxima vida útil de la lámpara.



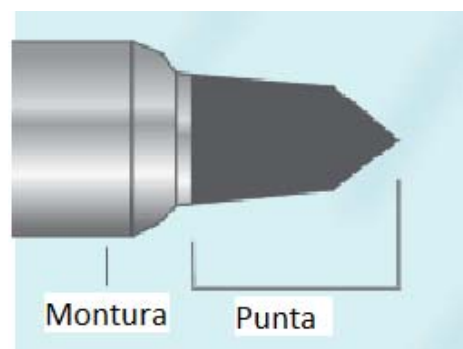
**Figura 2.9** *Cátodo de onda continua*

Una variante de este cátodo se ilustra en la *figura 2.10*. Este ha sido desarrollado para una operación cuasi-CW. La diferencia clave entre los dos cátodos es que el cátodo cuasi-CW posee un extremo redondeado. El diseño de punta redonda se desarrolló en respuesta a una tendencia del extremo de la punta a formar una bola de metal fundido cuando un cátodo estándar de CW era usado en una operación cuasi-CW. Este diseño de punta redondeada distribuye la carga térmica durante la operación, y por lo tanto evita que la bola de metal fundido se forme.



**Figura 2.10** *Cátodo de onda cuasi continua*

En el caso de una operación de modulación de una onda continua, CW, el diseño del cátodo es muy diferente a la de los modelos anteriormente descritos. Este cátodo (*Figura 2.11*) conduce a un significativo aumento de la vida útil de la lámpara. Un problema importante de la operación de modulación de onda continua es la tendencia del arco a vagar alrededor de la circunferencia de la punta cuando la lámpara está trabajando en la sección de menor corriente del ciclo de operación. Esto provoca que el cuarzo sufra altas temperaturas, provocando un rápido envejecimiento. Este diseño del cátodo evita en



**Figura 2.11** *Cátodo para modulación de onda continua*

gran medida el suceso anteriormente expuesto. Esta forma evita que el arco vague, ya que la punta está relativamente lejos del cuarzo, reduciendo drásticamente la posibilidad de daños.

## 2.1.6. Consideraciones de refrigeración

Una adecuada refrigeración garantiza que todo el tiempo de vida sea optimizado mediante la prevención del sobrecalentamiento de la pared interior del cuerpo de la lámpara. Los factores que han contribuido al calentamiento son el uso de materiales para el cuerpo de la lámpara que absorben los rayos UV, paredes demasiado gruesas del cuerpo de la lámpara, baja presión de llenado de la lámpara y que el gas utilizado sea kriptón (en vez de xenón). Algunas lámparas de pulsos operaron a altas densidades de media potencia - hasta  $200\text{Wcm}^{-2}$  - y es necesaria una refrigeración líquida con flujo turbulento alrededor de la lámpara. En su defecto, resultaba muy poco fiable enfriar adecuadamente flashlamps y acortaba las vidas de las lámparas.

La mayoría de los láseres de estado sólido comerciales y todas las lámparas de bombeo continuo de láseres de estado sólido requieren líquido de refrigeración. Esto se consigue normalmente con las corrientes de agua desmineralizada a través de la lámpara gracias al uso de un tubo de flujo o una placa de flujo. Todos los materiales del cuerpo de la lámpara tienen un máximo de potencia de carga que normalmente se expresa en  $\text{W cm}^{-2}$ . Este máximo no sólo depende de si se trata de una refrigeración convencional, o si es de aire a presión o refrigeración líquida, sino que también depende del tipo de cuarzo utilizado.

El requisito de refrigeración para flashlamps y para las lámparas de continuo utilizadas para aplicaciones láser está bien definido. Para determinar el método necesario para la correcta refrigeración de la lámpara, se tiene que dividir la potencia promedio de la entrada en vatios (W) por el área de la pared interna ( $\text{cm}^2$ ) de la región del arco. El resultado es en vatios por  $\text{cm}^2$  ( $\text{W CM}^{-2}$ ). Este valor se utiliza para determinar el método de refrigeración requerido, comparándolo con los valores de la figura 2.12.

Wall loading	Min. cooling requirement
$< 15 \text{ Wcm}^{-2}$	Convection air cooling
$15 - 30 \text{ Wcm}^{-2}$	Forced air cooling
$30 - 200 \text{ Wcm}^{-2}$	Fluid cooling

**Figura 2.12 Métodos de refrigeración de lámparas.**



## 2.1.7. Presión de llenado, Volumen muerto e Impedancia

### 2.1.7.1. Presión de llenado

La presión de llenado se puede definir como la presión interna que somete el gas de la lámpara. En general, cuanto mayor es la presión de llenado más alta es la eficacia del bombeo. Para las lámparas de pulso la presión más alta es de aproximadamente 3000 Torr. Por encima de este valor puede ser un problema bastante grave la disparabilidad de la lámpara. Por lo general, presiones superiores a 760 torr sólo se encuentran en pequeñas lámparas (3-5 mm de diámetro), operando a densidades de potencia moderada. Dejando a un lado las consideraciones de eficiencia, la presión de llenado puede ser alterada para modificar los parámetros eléctricos de la lámpara, por ejemplo presiones más bajas permiten bajar el nivel disparo y tensiones del circuito de disparo y descarga.

Las características de impedancia de la lámpara también se pueden ver afectadas por la presión de llenado - véase la *figura 2.13*. Las típicas presiones de llenado en flash y lámparas de arco son los siguientes:

- Mayoría de flashlamp de xenón – 450 Torr.
- Lámparas de arco de corriente continua de Kriptón - 2 Atmósferas.
- Flashlamp de pulso de kriptón – 700 Torr.
- Flashlamp de arco de xenón – 1-3 Atmósferas.

### 2.1.7.2. Volumen muerto

El volumen muerto se define como el espacio interior no activo de la lámpara, esto es, el volumen interno de la punta del electrodo con el sellado. A pesar de que una lámpara se fabrica con una determinada presión de llenado en frío, en funcionamiento esta presión aumenta a medida que la densidad de corriente es mayor. De ello se deduce que una lámpara que tiene un volumen muerto grande logrará una menor presión durante el funcionamiento que una lámpara con un pequeño volumen muerto y que la eficacia de este último será mayor.



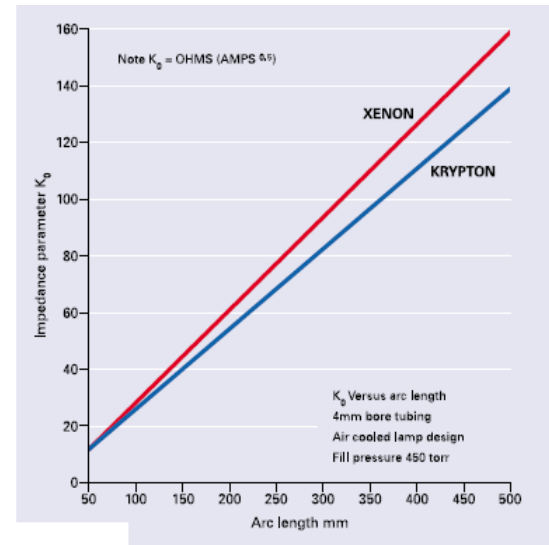
Los efectos del volumen muerto son muy importantes en la mayoría de las lámparas de descarga. Así, por ejemplo, afecta a las lámparas de arco de corriente continua llenadas con Kriptón y también afecta a la mayoría de las lámparas de descarga de pulsos y sobre todo en las lámparas donde la duración del pulso es superior a varios milisegundos. Si consideramos dos lámparas, ambas con la misma longitud de arco y de diámetro interno, pero diferenciándose en el tamaño de volumen muerto (hay que tener en cuenta que el volumen muerto incluye no sólo el área detrás del electrodo sino también la longitud del electrodo), ambas lámparas podrían funcionar con casi las mismas magnitudes de voltios y amperios, teniendo idénticas curvas, pero la presión de llenado podría mostrar hasta 2 atmósferas de diferencia.

### 2.1.7.3. Impedancia

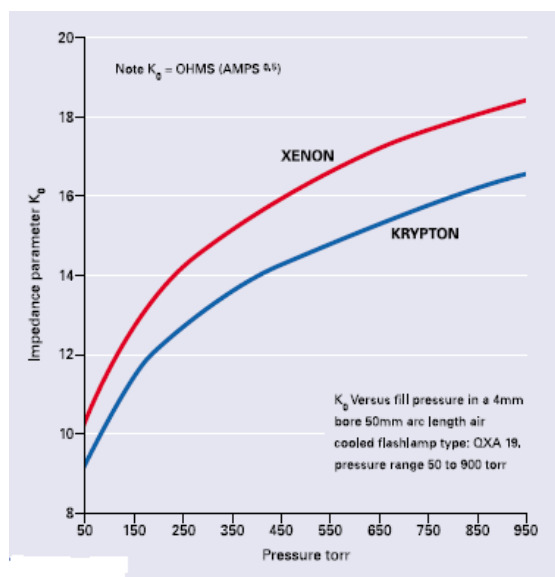
Hay varias maneras de expresar la impedancia de la lámpara. Tal vez la más común es el parámetro  $K_0$ , esto se muestra en ohmios x amperios<sup>0.5</sup>. La impedancia depende de la geometría de la lámpara (la longitud del arco y del diámetro interior), gas de relleno, y el tipo de gas. También influye el volumen muerto de la lámpara.

Durante el funcionamiento de la lámpara,  $K_0$  vendrá dada por la longitud del arco de entre los electrodos, el diámetro interior y presión de llenado en frío, que será inferior en una lámpara con un gran volumen muerto que en una con un volumen muerto menor. Esto es debido a la diferencia en las presiones de llenado de las lámparas durante el funcionamiento. Es importante tener en cuenta que los valores de impedancia calculadas teóricamente son sólo un valor orientativo, ya que no se tiene en cuenta el volumen muerto de la lámpara. Sin embargo, aunque esta desviación depende de la duración del pulso, energía y diámetro del arco, en términos reales sólo da problemas ocasionales y la diferencia entre la impedancia calculada y el valor real es mínima y las tensiones necesarias para el correcto funcionamiento de la lámpara no varían.

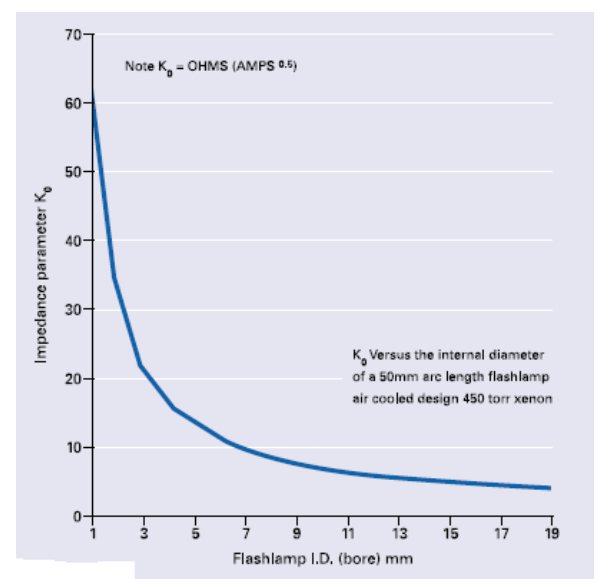
De la Figura 2.13 hasta la figura 2.15 se muestra como  $K_0$  varía en función del tipo de gas, de la presión, del diámetro interior y longitud de arco. Se puede observar que  $K_0$  es inversamente proporcional al diámetro interior de la lámpara ( $d$ ) y que es proporcional a la longitud del arco.  $K_0$  es también bastante sensible a la presión. Por ejemplo, si en una determinada flashlamp es necesario cambiar el relleno de gas de xenón a relleno de kriptón, y mantener la misma impedancia de la lámpara, entonces será necesario un aumento del 70% aproximadamente de la presión para el kriptón, aunque sólo hay un 12% de diferencia relativa en la impedancia entre la lámpara de xenón y la de kriptón con la misma presión.



**Figura 2.13 Impedancia en función de la longitud del arco**



**Figura 2.14 Impedancia en función de la presión**



**Figura 2.15 Impedancia en función del diámetro interno de la lámpara**

## 2.2. Circuitos de acondicionamiento

### 2.2.1. Circuitos de disparo

Al igual que otros dispositivos de descarga de gas, las flashlamps presentan una resistencia extremadamente alta en su estado de reposo. Con el fin de que la lámpara se encienda, un arco de chispa se forma entre los electrodos. Esto se logra al aplicar un pulso de disparo de alta tensión.

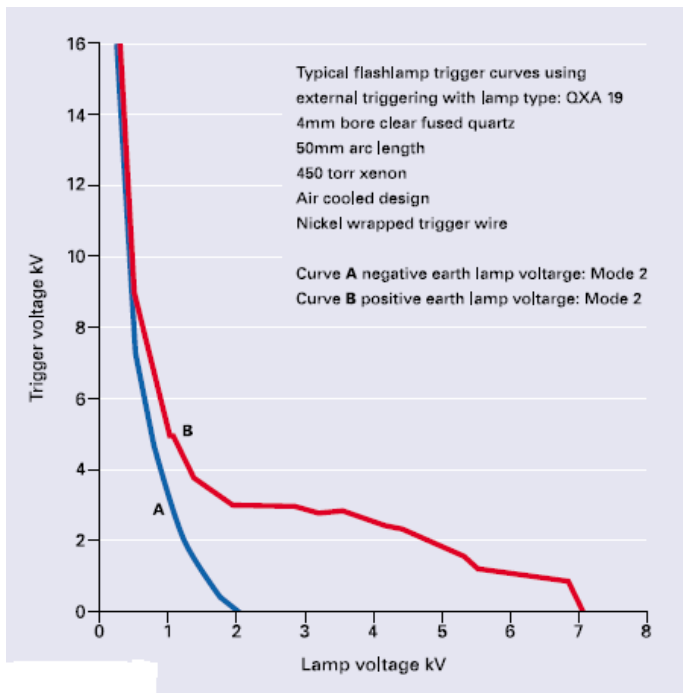
Hay distintas técnicas o circuitos de disparo que se usan actualmente, las más usadas o comunes se expondrán en los siguientes subapartados. El proceso de encendido se produce en varias etapas. Primero una serpentina de chispa se forma en uno o en los dos electrodos y en la pared interna de la lámpara. Esta chispa se propaga por los efectos capacitivos a lo largo de la pared interna de la lámpara de un electrodo a otro. Si la caída de voltaje entre los electrodos, ocasionada por esta serpentina de disparo, es menor que la tensión del condensador entonces la lámpara se encenderá.

Independientemente del método que se utilice, el proceso de encendido de la lámpara depende de la presencia de un gradiente de tensión o un plano de referencia estando cerca o en la superficie de la lámpara. Sin ella, un disparo fiable no se puede garantizar. Este plano de referencia puede tomar la forma de un alambre de níquel envuelto a través del exterior de la lámpara (*Disparo externo*) o la estructura metálica de cavidad de láser y agua de refrigeración (disparo en serie).

Es difícil definir con precisión los requisitos del pulso de disparo. No sólo es conseguir un pulso de altísima tensión, sino también, que este pulso dure el tiempo necesario para que el disparo forme la serpentina necesaria para que se pueda tener en cuenta. La duración del pulso generalmente es de 60 nanosegundos por centímetro de longitud del arco. Si el pulso de disparo no está activo durante el tiempo suficiente, lo que provocará será una serpentina irregular y errática, incluso con altas tensiones de disparo.

Cada tipo de lámpara tendrá una curva de disparo similar a la que se muestra en la *Figura 2.16*. Sin embargo, incluso con control de calidad durante la fabricación de la lámpara, entre lámparas del mismo tipo o del mismo lote, se muestran algunas variaciones de la curva. La diferencia será mayor en los extremos de la lámpara  $V_{min}$  y  $V_{max}$ . En general, la tensión de disparo debe ser de al menos un 60% por encima de la requerida para iniciar la mayoría de las lámparas.

Además de tener la tensión de disparo correcta, la polaridad relativa del disparo y de las tensiones del condensador debe observarse como se muestra en la Figura 2.17.

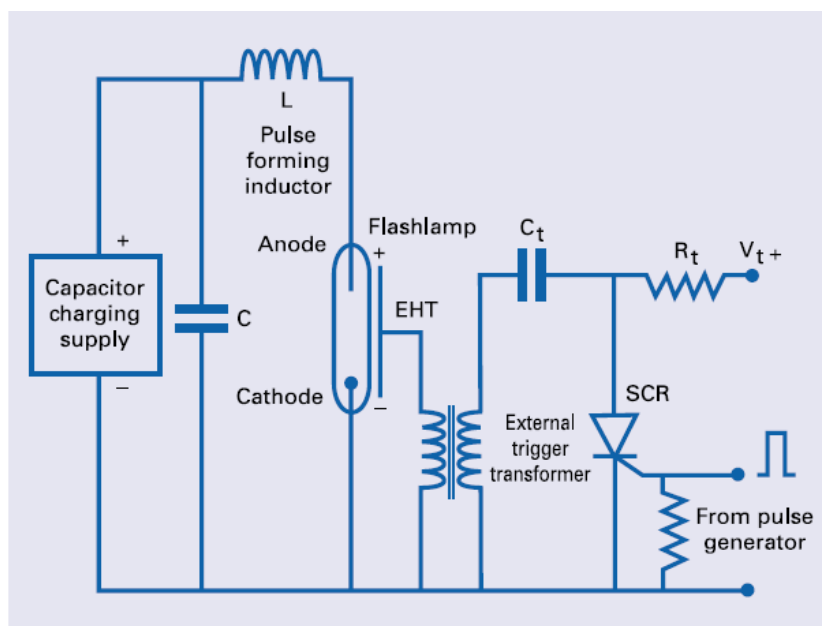


**Figura 2.16** Gráfica característica del disparo de la flashlamp

Trigger Mode	Common Electrode	Power Supply Polarity	Trigger Polarity External	Trigger Polarity Series
1	Cathode	Positive	Positive	Negative
2	Cathode	Positive	Negative	Positive
3	Anode	Negative	Positive	Negative
4	Anode	Negative	Negative	Positive

**Figura 2.17** Tabla de polaridades

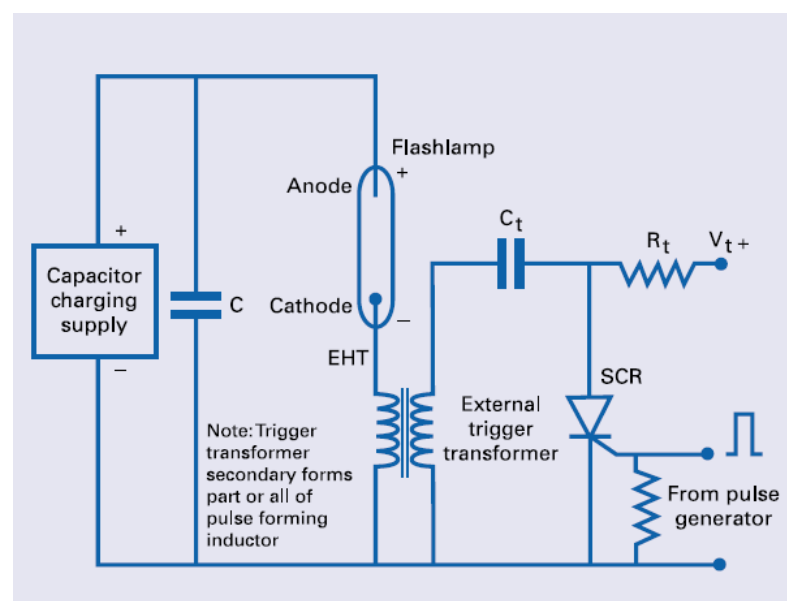
### 2.2.1.1. Disparo externo



**Figura 2.18** Circuito del disparo externo

Un pulso de disparo de alta tensión de un transformador elevador de disparo es aplicado al alambre de níquel envuelto alrededor del exterior de la lámpara. Solamente son aplicables a las lámparas de aire refrigerado. Es el más barato y más sencillo de todos los métodos de disparo. El transformador de disparo externo es un pequeño y ligero componente. El disparo externo permite una mayor flexibilidad en el diseño porque el transformador se encuentra fuera del bucle de descarga principal. El disparo externo no se encuentra a menudo en la industria de láseres de estado sólido, aunque se usa frecuentemente para flashlamps utilizadas en aplicaciones fotográficas, estroboscópicas, para flashlamp con alta velocidad de activación y también para los sistemas láser con un solo disparo de baja potencia, por ejemplo telémetros láser. La principal desventaja es que hay una alta tensión presente en el exterior de la lámpara, lo que hace que su aislamiento sea muy difícil.

### 2.2.1.2. Disparo en serie



**Figura 2.19 Circuito de disparo en serie**

En un disparo en serie el secundario del transformador de disparo está conectado directamente a uno de los electrodos de la lámpara. Después de la activación de la lámpara, a través de un pulso de alta tensión proporcionada por el secundario del transformador de disparo, se le proporciona una tensión para mantener la flashlamp activa. En consecuencia, el transformador de disparo en serie es más grande, más pesado y más caro en comparación con un transformador de disparo externo. El disparo en serie se utiliza ampliamente en la industria de alta



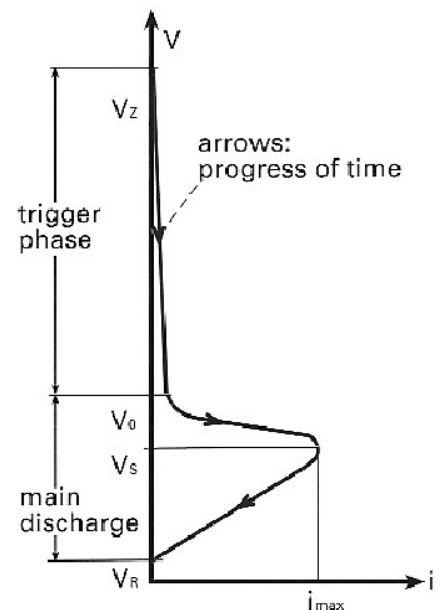
potencia con sistemas de láser de estado sólido. Ofrece un mejor tiempo y fiabilidad a largo plazo en comparación con un disparo externo y tiene la ventaja de que no hay tensiones elevadas fuera de la lámpara. El disparo también tiene lugar a bajas tensiones de carga del condensador.

## 2.2.2. Circuitos de descarga

Las flashlamps están conectadas a dos circuitos diferentes, el circuito de disparo que actúa en la fase de activación de la lámpara y a un circuito de descarga principal actuando en la fase de descarga.

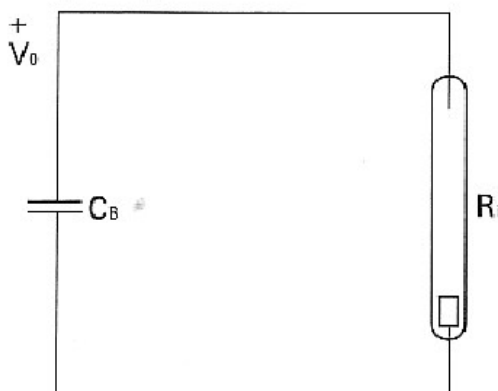
La impedancia característica (Tensión del ánodo  $V$  frente a la corriente de descarga  $i$ ) es peculiar porque tiene la misma forma para todas las descargas de flashlamp. Este descenso representa las características de la descarga. Primero la tensión de disparo  $V_z$  (2-30kV) causa la ionización en el tubo de la lámpara. Esta ionización sola no es suficiente para la descarga. Esto es porque la tensión de operación del circuito de descarga principal debe ser alcanzada antes de que el disparo sea realizado. Esto requiere una energía entre 1-100mJ.

La descarga principal se puede subdividir en la corriente de subida (1-10  $\mu$ s) y la corriente de bajada (por encima de 10  $\mu$ s). Durante la fase de caída en condiciones normales se genera la mayor parte de la emisión de luz. Por último, la descarga se extingue en una tensión residual de  $V_R$  (10 a 80V).

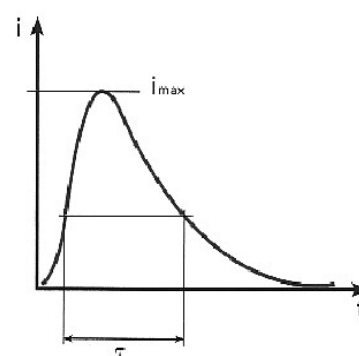


**Figura 2.20 Gráfica de tensión frente a corriente en las fases de disparo y**

### 2.2.2.1. Condensador de descarga libre



**Figura 2.21 Circuito descarga con condensador de descarga libre**

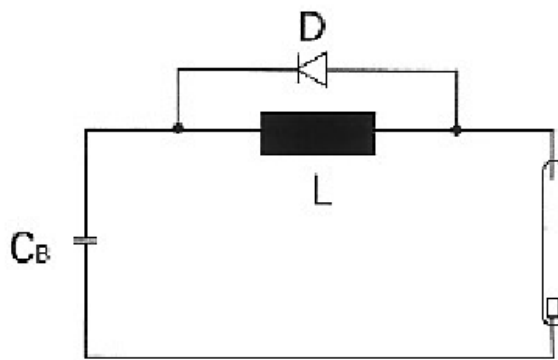


**Figura 2.22 Gráfica de la corriente frente al tiempo**

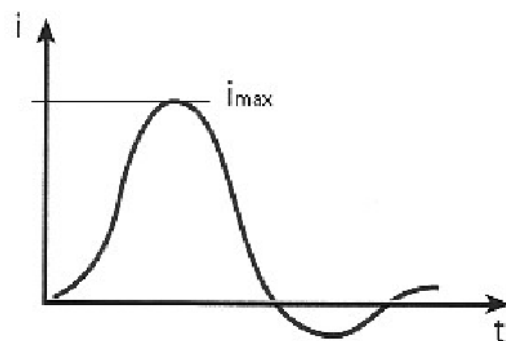
Este es el circuito de descarga más básico posible, simplemente se compone de un condensador  $C_B$  que almacena una cierta energía antes del disparo de la lámpara. Posteriormente, una vez encendida la lámpara, esta se mantiene encendida un cierto tiempo. Este tiempo depende de la impedancia de la lámpara y del tamaño del condensador (Véase Figuras 2.21 y 2.22).

### 2.2.2.2. Pulso que forma la red (LC)

Este circuito ilustrado a continuación (véase en la figura 2.23) muestra el circuito más simple.  $L$ ,  $C_B$  forman un circuito resonante, el cual es amortiguado por el tubo de la flashlamp. La corriente inversa puede ser inhibida por un diodo  $D$ . En comparación con el condensador de libre descarga. La subida de corriente y el pico de corriente máxima  $I_{max}$  son reducidos (véase figuras 2.24 y 2.22).

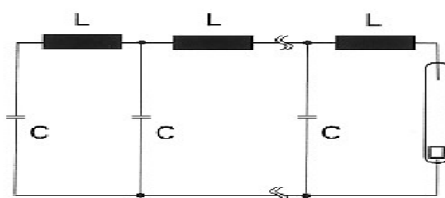


**Figura 2.23 Circuito de descarga**



**Figura 2.24 Gráfica corriente frente al tiempo**

Si se usan múltiples conexiones LC, se puede obtener casi un pulso de descarga rectangular (véase figuras 2.25 y 2.26).



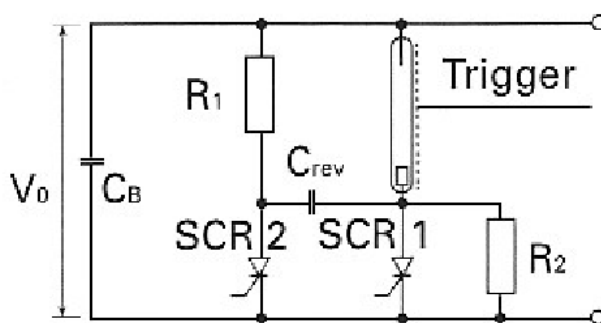
**Figura 2.25 Circuito con múltiples conexiones LC**



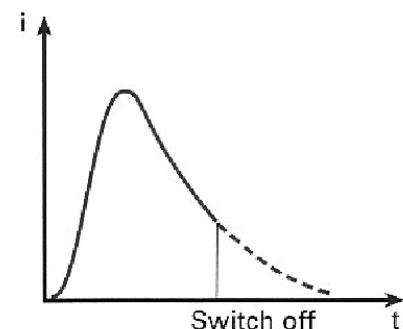
**Figura 2.26 Gráfica corriente frente a tiempo del circuito con múltiples conexiones LC**

### 2.2.2.3. Doble tiristor

Este es un circuito de conmutación on/off de una flashlamp con un par de tiristores. El encendido se realiza por sincronización del disparo de la lámpara y la puerta del Tiristor 1. En el apagado, el tiristor 2 es activado, descargando  $C_{rev}$  y revirtiendo el tiristor 1. Este circuito es sensible a los valores de  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $C_{rev}$  y reteniendo la corriente de los tiristores. La frecuencia de repetición es limitado por la recarga de  $C_{rev}$ . Véase figura 2.27 y figura 2.28

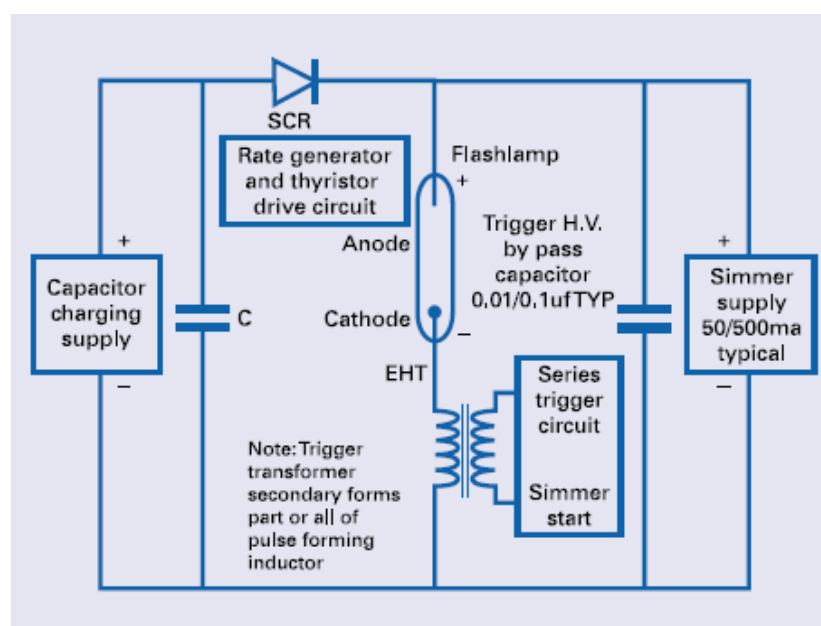


**Figura 2.27** Circuito de descarga con 2 tiristores



**Figura 2.28** Gráfica de corriente frente tiempo del circuito de doble

### 2.2.2.4. Operación simmer

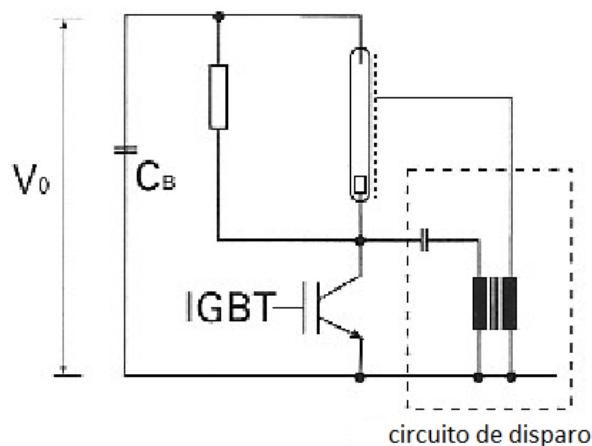


**Figura 2.29** Circuito simmer

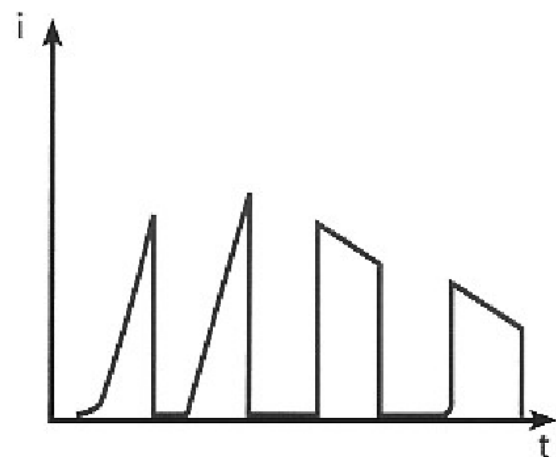
Después de disparar, una baja corriente continua de descarga se mantiene a través de la lámpara (simmer significa en español fuego lento). Normalmente, los valores de la corriente van desde 50 a 500 miliamperios. Una lámpara de pulsos es controlada por un SCR (tiristor) en el bucle de la descarga principal. Los métodos de disparo pueden ser en serie o externos. La operación de modo simmer generalmente amplía la vida de la lámpara y se utiliza a menudo en alta potencia, tiene una alta tasa de repetición en todas las aplicaciones. Un circuito de retraso es a menudo necesario en la fuente de carga del condensador para permitir al SCR apagarse completamente, siguiendo el pulso de la lámpara. Normalmente se requiere una red Snubber para proteger el pico del SCR. (Véase Figura 2.29)

### 2.2.2.5. IGBT de potencia

El IGBT ofrece un alto pico de corriente, alta frecuencia de conmutación con muy pocas pérdidas y un sencillo circuito de control. Este concepto es ideal para un control de descarga para una flashlamp. El IGBT también opera en el circuito de disparo del tubo. Todo pulso modelo, pre-flash y manipulación del principal flash es posible. (Véase las figuras 2.30 y 2.31)



**Figura 2.30 Circuito de descarga con IGBT**



**Figura 2.31 Grafica  $I(t)$  del circuito con IGBT**

### 3. Uso de las flashlamp en el mundo comercial

La flashlamp fue inventada por Harold Edgerton en la década de 1930 como un medio para tomar fotografías nítidas de objetos en movimiento. Las flashlamp se utilizaron principalmente para las luces estroboscópicas en estudios científicos, pero con el tiempo comenzó a sustituir a los productos químicos y a las lámparas de flash en la fotografía convencional.

Al principio las fotografías de alta velocidad fueron tomadas con un arco de descarga eléctrica al aire libre, llamada “spark” (la chispa) de la fotografía. El primer uso conocido de la chispa de la fotografía comenzó con Henry Fox Talbot en 1850. En 1886, Ernst Mach utiliza una chispa al aire libre para fotografiar una bala, revelando las ondas de choque que se producen a velocidades supersónicas.

En 1927, Harold Edgerton construyó su primera unidad de flash mientras que estaba en el MIT (Universidad de ingeniería de EEUU). Al querer fotografiar el movimiento de un motor con gran detalle, Edgerton decidió mejorar el proceso de flash de la fotografía mediante un rectificador de arco de mercurio en lugar de una descarga al aire libre para producir la luz. Él fue capaz de lograr una duración de destello de 10 microsegundos, y fue capaz de fotografiar el motor en movimiento como si estuviera congelado en el tiempo.

El interés por el nuevo aparato de flash pronto provocó que Edgerton mejorara el diseño. Las lámparas de mercurio son tan eficaces como la parte más caliente de la lámpara, haciendo que se desempeñen mejor cuando están muy calientes, pero mal cuando están frías. Edgerton decidió que un gas noble no sería tan dependiente de la temperatura y, en 1930, con la empresa General Electric intentó la construcción de algunas lámparas utilizando argón en su lugar. Las lámparas de argón fueron mucho más eficientes y compactas, y pueden ser montadas cerca de un reflector, concentrándose su producción. Poco a poco, los diseñadores de cámaras empezaron a tomar nota de la nueva tecnología y comenzó su aceptación. Edgerton recibió su primer gran pedido de flashlamps de la compañía Kodak en 1940. Más tarde, descubrió que el xenón es el más eficaz de los gases nobles, produciendo un espectro muy próximo a la de la luz del día, y las flashlamp de xenón se convirtieron en comunes en la mayoría de los conjuntos de fotografía de gran tamaño. Hasta la década de 1970 no se convirtieron las unidades de flash en lo suficientemente portátiles para un uso en cámaras comunes.

En 1960, después de que Theodore Maiman inventara el láser de rubí, surgió una nueva demanda de flashlamps, para su utilización en láseres y con ello un nuevo interés en el estudio de las lámparas.

Las flashlamp se utilizan en la actualidad en diversos campos del mundo comercial. Así por tanto, se utilizan y emplean para la iluminación de los vehículos a motor, cámaras fotográficas, lámparas estroboscópicas, en aplicaciones de electro-medicina y como fuente de iluminación artificial lo más parecida a la luz solar y, dentro de este último uso, para diversas investigaciones como por ejemplo para comprobar y evaluar los diversos tipos de placas fotovoltaicas. También las flashlamps, como se ha mencionado anteriormente, se empezaron a emplear en láseres.

A medida que se ha investigado y se ha avanzado en la tecnología para su fabricación y para los circuitos de acondicionamiento de las flashlamp, se han ido utilizando en más campos de la vida cotidiana e industrial.

### 3.1. Industria del automóvil

En la industria del automóvil se empleaban lámparas incandescentes, después se incorporaron lámparas halógenas con una luz más blanca e intensa con un filamento de wolframio. Las últimas en utilizarse para la iluminación del coche fueran las flashlamp de xenón.



**Figura 3.1 Flashlamp de Xenón para vehículos**

HID (High Discharge Intensity) es como se llama a la tecnología de las lámparas de xenón empleadas en los automóviles. El sistema de Xenón HID incrementa la visibilidad de noche en un 300%, dando como resultado un manejo más seguro y relajado. Tienen una vida útil de unas 2500 horas de uso, hasta 5 veces más que las mejores lámparas halógenas.

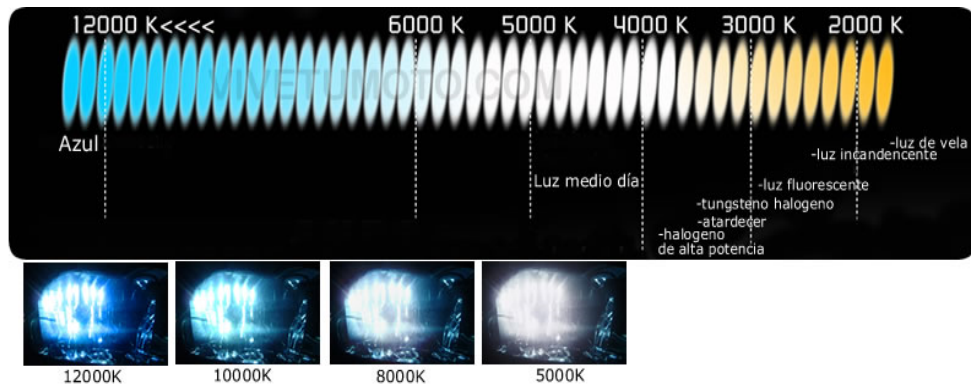
Para la instalación de estas lámparas en el coche es necesario instalar, a parte de las flashlamps, un balasto para cada lámpara, ya que



**Figura 3.2 Balasto para las flashlamp para**

será el encargado de conseguir entre 15-30 KV, y una corriente necesaria para mantenerla encendida a partir de la batería del automóvil.

Las lámparas de xenón empleadas en los vehículos se pueden clasificar según el color que se obtiene al encenderlas (grados kelvin), y según el tipo de conectores que tienen para conectarlas al coche.



**Figura 3.3 Gama de colores de las flashlamp de xenón para coche**

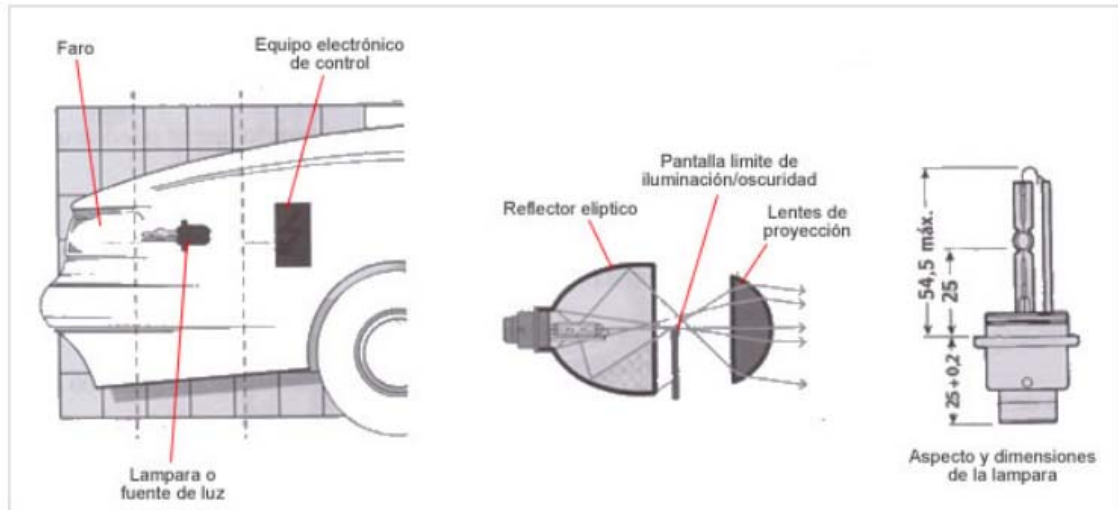
El valor  $K$  (Kelvin) en una bombilla de Xenón significa la temperatura, lo que nos da el color del haz de luz. Si bien, el hecho de que la temperatura sea más alta no implica que la lámpara de xenón alumbre más. La temperatura es una escala para medir el color del haz de luz simplemente. Cuanto mayor es la temperatura mayor es el color azulado del haz de luz. A continuación, expongo un ejemplo que ilustra la temperatura que proporciona una mayor iluminación.

En una calle de 80 metros lineales:

- 6,000k Luz blanca intensa - 100% Visibilidad 80 metros
- 8,000k Luz Azul Claro - 95% Visibilidad 76 metros
- 10,000k Luz Azul Medio - 80% Visibilidad 64 metros
- 12,000k Luz Azul intenso - 70% Visibilidad 56 metros
- 15,000k Luz Púrpura Azulado - 60% Visibilidad 48 metros
- 16,000k Luz Púrpura lila - 55% Visibilidad 44 metros
- 30,000k Luz Rosa Intenso - 40% Visibilidad 32 metros
- 40,000 k Luz Verde Intenso - 35% Visibilidad 28 metros

Como se puede observar, una temperatura alrededor de los 6000 kelvin (Luz de color blanca intensa) proporciona la mayor iluminación de la lámpara, si bien a medida que aumenta la temperatura la luz se vuelve más azulada y pierde luminosidad.



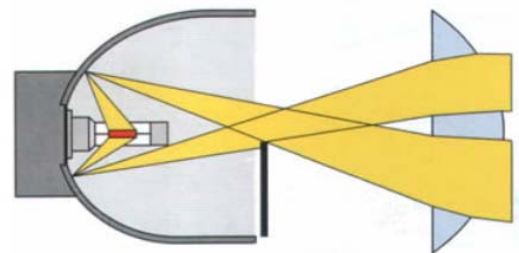


**Figura 3.4 Flashlamp de Xenón para vehículos**

Las ventajas e inconvenientes de esta nueva generación de faros, en comparación con la tecnología de las lámparas convencionales son:

#### **Ventajas:**

- El rendimiento luminoso es unas tres veces mayor. Para generar el doble de intensidad luminosa que una lámpara convencional de 55 W, se utiliza una descarga de gas de sólo 35 W. De esta manera se reduce el consumo aproximadamente en un 25%.
- La energía eléctrica convertida en calor es mucho menor, por lo que se pueden usar faros pequeños y de materiales plásticos.
- Banda de luz más amplia. Mediante una configuración especial del reflector, visera y lente se consigue un alcance superior y una zona de dispersión más ancha en la zona de proximidad. De esta forma se ilumina mejor el borde de la calzada, lo cual reduce la fatiga visual del conductor.
- La vida útil es de unas 2.500 horas. Cinco veces más que una lámpara halógena.



**Figura 3.5 Haz de luz dentro del faro de un coche**

#### **Inconvenientes:**

- Tardan 60 segundos en dar luz máxima (3200lm), aunque al segundo dan 800 lúmenes.
- Necesitan equipo electrónico de encendido y control.
- Se permite el uso solo en combinación con sistemas automáticos de regulación de altura de la luz de los faros y de lavafaros (el lavafaros es



necesario para que siempre estén limpios, pues la suciedad es un aislante térmico y sin evacuaciones del calor se produciría una avería).

- Precio de lámparas e instalación necesaria.

## 3.2. Industria fotográfica

Los primeros flashes consistían en una cantidad de *polvo de magnesio* cuya ignición se provocaba manualmente. Su primer uso data de 1864, pero su precio prohibitivo le impidió generalizarse hasta pasada una década. En 1880 se usó la mezcla de polvo de magnesio con un agente oxidante como el clorato potásico.<sup>1</sup> El carácter explosivo del mismo hacía peligroso su uso.

En 1930 los *flashes de lámpara* o *flashes de bombilla* sustituyeron al polvo de magnesio. Eran bombillas de un solo uso que encerraban herméticamente un largo filamento de magnesio en una atmósfera de oxígeno. Su ignición se provocaba eléctricamente con el accionamiento del obturador de la cámara. Para evitar que estallasen, la presión del oxígeno de su interior era inferior a 1 atmósfera. Posteriormente, el zirconio sustituyó al magnesio para producir destellos más brillantes. Llegaron a popularizarse agrupaciones de 4 lámparas (el llamado *cuboflash*) y de unas 10 (el *Flipflash*).

En la actualidad las unidades de *flash electrónico* están constituidas por lámparas de xenón. Las lámparas de xenón se utilizan no solo en antorchas para flash, sino que también están incorporadas en las cámaras digitales de uso común. También en algunos móviles están integradas, aunque los LEDs se han utilizado en algún caso pero no llegan a los niveles de potencia de la lámpara de xenón.



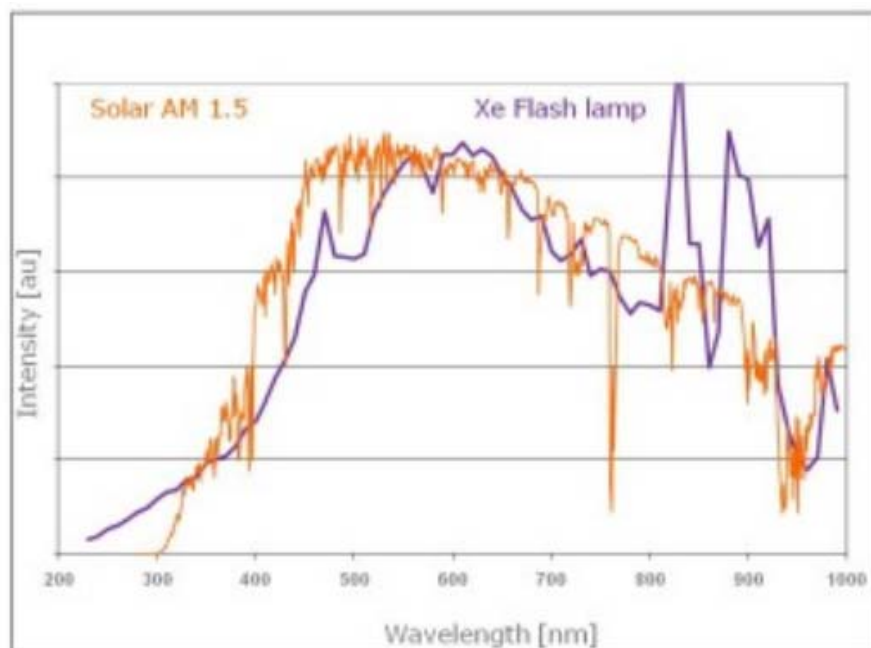
**Figura 3.6 Lámpara de xenón fotográfica**

### 3.3. Investigación con luz solar

Las flashlamps son las lámparas que generan una luz más parecida a luz solar (véase figura 3.7). Por ello, estas lámparas se utilizan para el ensayo y pruebas de los distintos paneles solares. Con ellas es posible observar las características de las células fotovoltaicas, como se comportan y que energía son capaces de absorber en un determinado espacio de tiempo (suelen ser intervalos muy cortos).

Para conseguir realizar estas pruebas es necesaria la construcción de un lugar de trabajo específico. Este lugar tiene que contener un túnel totalmente opaco, que no interfiera nada en el haz de luz que emita la flashlamp. En un extremo de dicho túnel se colocará la flashlamp orientada hacia el otro extremo del túnel, dicha lámpara tiene que ser capaz de moverse a través del túnel para poder probar distintas distancias desde el foco de luz hasta el receptor. En el otro extremo estará el panel solar que se quiera probar y evaluar. También se puede poner entre medias un colimador para así ajustar la zona de impacto del haz de luz como sea necesaria.

Las flashlamp más convenientes para esta aplicación son las fabricadas con el cuerpo de **Titanium Doped Quartz** (descrito en el apartado 2.1.3.3) ya que dejan pasar la luz con longitudes de onda más parecidas a la luz solar.



**Figura 3.7 Comparativa longitudes de onda de la luz solar frente a la de una flashlamp de xenón**

### 3.4. Industria electro-médica

Las flashlamp tienen también otros usos de gran importancia, ya que se utilizan en varios equipos de electro-medicina, haciendo así posible diversos tratamientos para la salud y la estética humana. Para estas aplicaciones se utilizan las flashlamp en modo láser.

Los rayos láser se han convertido en una herramienta valiosa dentro del tratamiento médico. Gracias a la tecnología de este sistema avanzado de luz, la lucha contra las enfermedades y afecciones, sobre todo en cirugías y en procesos sencillos relacionados con la dermatología que comprenden el rejuvenecimiento de la piel, se han visto muy mejorados, abaratando costes postquirúrgicos y también contribuyendo de manera notable al bienestar de los pacientes. Y es que el desarrollo del láser y sus aplicaciones en la medicina ha reducido por igual los riesgos en el proceso de la operación como en las consecuencias de los métodos invasivos de las operaciones.

Para clasificar las distintas modalidades del uso del láser en la medicina es necesario un tratado muy extenso, puesto que la diversificación en esta materia realmente crece a pasos agigantados y ya son prácticamente todas las áreas del organismo las que pueden ser tratadas con este método. Empecemos precisamente por el órgano más grande de nuestra geografía corporal: la piel. No hay ningún centro especializado de estética que no cuente con unos aparatos que incluyan láser, y que sirva para la eliminación de manchas, espinillas así como para el restablecimiento del colágeno, que es el material producido naturalmente por el organismo que sirve para conservar la textura y lozanía de la piel. Los rayos láser son



**Figura 3.8 Fotodepilación**



**Figura 3.9. Aplicación electromédica con flashlamp**

también muy buenos en los procesos de cicatrización, algo que está muy relacionado con la eliminación de tatuajes, por ejemplo.

Los rayos láser definitivamente son altamente beneficiosos en los tratamientos de endocirugía. En oftalmología, su uso ha sido altamente comprobado en la eliminación de cataratas y otras afecciones visuales que afectan negativamente la potencia visual. Para tratamientos de problemas digestivos, la colenterapia se ha visto beneficiada por la acción de los rayos láser que impiden el crecimiento microbacteriano en estos procesos quirúrgicos y, en general, el láser está empezando a usarse en algunos métodos de corte de la epidermis prescindiendo del uso del bisturí.

Dentro de la odontología se puede tratar la caries dental. En este caso concreto, el haz de luz incide sobre el diente y elimina la zona enferma exclusivamente de forma superficial, siendo absolutamente segura su utilización. Por otra parte, al ser su acción selectiva y puntual, se consiguen cavidades sumamente pequeñas y conservadoras, sin necesidad de desgastar grandes cantidades de tejido dental sano. Estas cavidades serán restauradas con Luz Halógena y materiales estéticos. La acción del láser sobre el diente, al ser superficial, tiene la ventaja de la casi innecesaria aplicación de anestesia, sin los consiguientes riesgos, pudiendo el paciente continuar normalmente con sus tareas habituales.



***Figura 3.10 Laser dental***

En conclusión podemos decir que las flashlamp se han incorporado en el área médica de un forma importante, ayudando a una mejora notable de la calidad de vida del paciente.

## 4. Diseño y desarrollo del circuito de acondicionamiento

### 4.1. Balasto para flashlamp de Xenón

Una de las partes experimentales de este proyecto era conseguir un circuito de acondicionamiento comercial con su flashlamp de xenón. Se necesitaba un conjunto de circuito y lámpara que fuera económico y fácil de adquirir. Después de sondear el mercado y ver los productos necesarios para el proyecto, había que elegir entre comprar una lámpara y su circuito por separado de una de las grandes marcas que realizan distintos tipos de flashlamps y circuitos de acondicionamiento (Heraeus.Noblelight, Hamamatsu, Perkinelmer), pero esta opción fue descartada por el gran coste que supondría adquirir los componentes necesarios (entorno a unos 1000 euros de coste).

Otra opción era conseguir el circuito de disparo y la lámpara de alguna cámara fotografía o antorcha de flash fotográfico, pero también fue descartado debido a la dificultad que supondría sacar el circuito y la flashlamp de la carcasa y los demás componentes de la cámara necesarios para el experimento, así como medir en los distintos puntos del circuito.

Y por último existía la posibilidad de conseguir un kit de faros de xenón para un automóvil, el cual contenía 2 flashlamp de xenón, y 2 balastos (los cuales contienen toda la circuitería necesaria para el funcionamiento de las lámparas), por lo que finalmente escogí esta última opción ya que era bastante económica y se tiene más de un circuito de acondicionamiento y más de una flashlamp por si los primeros sufrían daños irreparables.

Después de estudiar la disponibilidad de los distintos kits de faros de xenón en el mercado y su facilidad para adquirirlos se escogió el kit de la marca **GT HID**. El kit contenía 2 flashlamps, 2 balastos y el cableado necesario para su instalación, así como unos rangos de tensión y corriente necesario para el funcionamiento del circuito y por consiguiente del correcto funcionamiento de la flashlamp.



*Figura 4.1 Caja kit faros de xenón*



Las flashlamp adquiridas consiguen un color de 8000 K, proporciona una potencia de 35 W. Necesita para funcionar una tensión de al menos 9 V , y no más de 16 V, como también una corriente entre 5 y 6 amperios.



**Figura 4.3 Interior de la caja del kit faros de xenón**



**8000K**

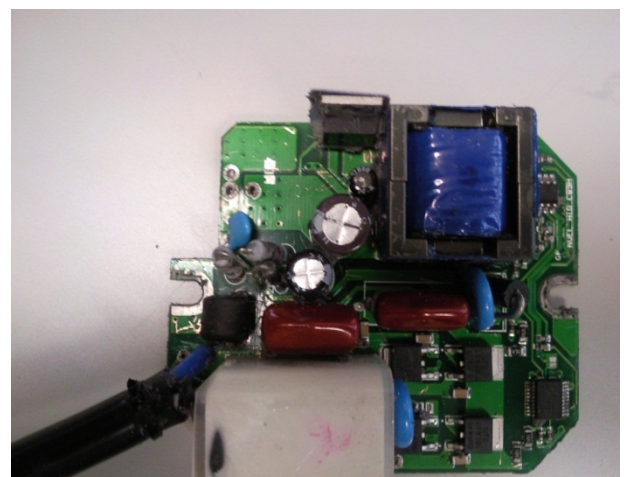
**Figura 4.2 Color del haz de luz de 8000K**

#### 4.1.1. Tipo de circuito

Una vez adquiridos los componentes necesarios, se procedió a la comprobación e investigación del circuito dentro del balasto del kit. Se pudo observar, simplemente viendo la flashlamp, que el circuito de disparo de la lámpara era un circuito de disparo en serie, ya que la lámpara no contenía ningún hilo rodeándolo, ni ninguna barra entre sus electrodos.

Dentro del balasto surgió el impedimento de una capa gruesa de silicona, la cual se pudo eliminar con sumo cuidado. Una vez despejado el circuito de la silicona se pudo observar los distintos componentes y hacernos una idea del esquema del circuito.

Como se puede observar en las imágenes (véase figuras 4.4,4.5,4.6), el circuito se componía de una placa de circuito integrado, la cual contiene condensadores electrolíticos y cerámicos, una bobina, resistencias, un puente de 4 MOSFET, un transformador, un transformador de disparo, un MOSFET de potencia, y tres circuitos integrados además de diversas resistencias muy pequeñas entre las pistas de la placa.



**Figura 4.4 Parte superior del circuito del balasto**

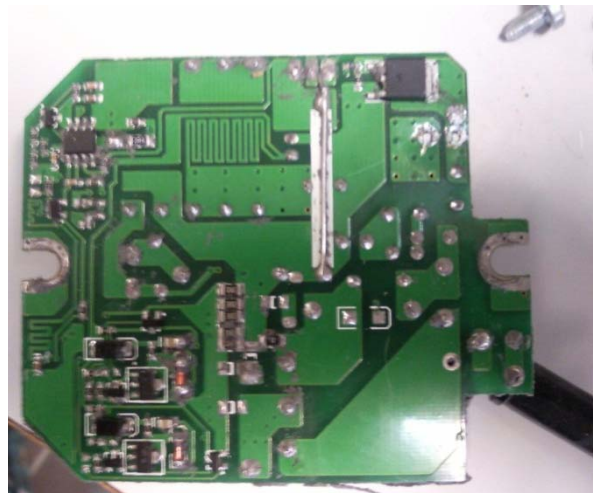
Utiliza la parte de la carcasa metálica y de la silicona como disipador térmico del MOSFET y de parte del circuito. De los circuitos integrados uno es LM 3580 que es un amplificador de baja potencia, los otros dos que posee el circuito no son comerciales, ya que no se encuentran a la venta.

Las resistencias de mayor tamaño del circuito tienen unas impedancias de alrededor de 1-20 K $\Omega$ , en cambio las resistencias pequeñas, que se encuentran entre las pistas de la placa (véase en la figura 4.6), tiene unos valores de impedancia entorno a los 5-20 M $\Omega$ .

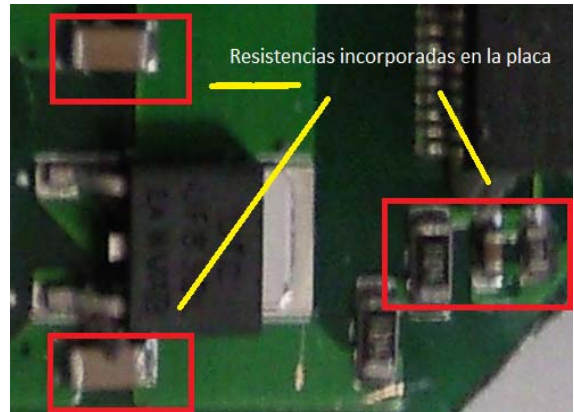
Los condensadores electrolíticos tienen una capacitancia de unos valores de microfaradios (680, 47, 4.7  $\mu$ F), los dos mayores son capaces de soportar 25 V, en cambio el más pequeño es capaz de soportar 400 V, lo que indica que este condensador es el que soporta una mayor tensión, y puede ser el condensador encargado del disparo de la lámpara. Los otros condensadores, tanto los azules como los marrones, poseen una capacitancia de nanofaradios.

El MOSFET de potencia es capaz de soportar una  $V_{DS}$  de 100 V (Tensión entre el drenador y la fuente del MOSFET) y una corriente  $I_{DS}$  a través de él de 57 A. El puente de MOSFET son unos transistores ultra rápidos. Este puente es el encargado de conseguir una onda de la tensión y corriente cuadrada capaz de mantener la lámpara encendida una vez se haya disparado.

Por último, están los transformadores. Más concretamente, el circuito se compone de dos. El primero es un transformador con 4 bobinados (véase en la figura 4.7), de los cuales los tres primeros están conectados entre ellos por la placa del circuito. Es un transformador con un índice de unos 50 como máximo a una frecuencia de 800 KHz, a medida que disminuye o aumenta esa frecuencia el índice de relación disminuye. El segundo es un transformador de disparo (véase en la figura 4.8), que es precisamente el encargado de aplicar la tensión necesaria a la flashlamp para poder dispararla. Si a este

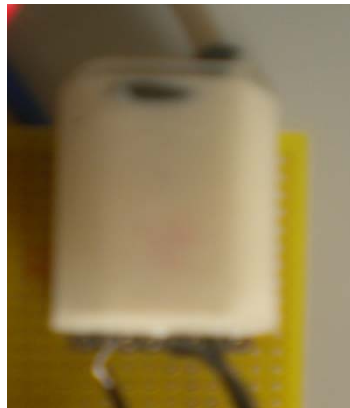


**Figura 4.5 Parte inferior del circuito del**

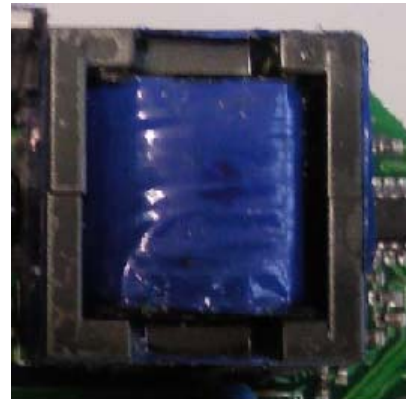


**Figura 4.6 Resistencias integradas en la placa.**

transformador le proporciona una onda cuadrada, o sinusoidal y no un pulso no funciona. Y es capaz de aumentar cien veces la tensión de entrada.



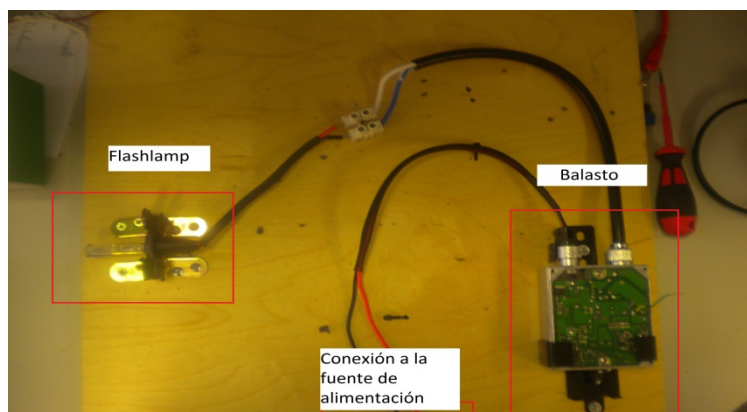
**Figura 4.8**  
**Transformador de**



**Figura 4.7 Transformador**

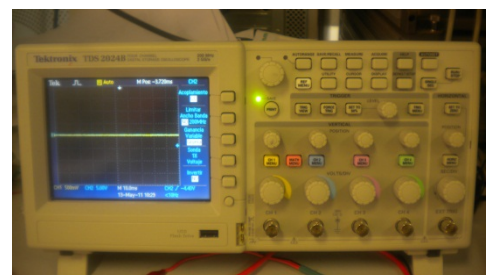
### 4.1.2. Valores y medidas del balasto

Para conseguir los valores y medidas que interesan analizar, ha sido necesario construir una estructura para tener todos los componentes bien sujetos, con el fin de hacer posible su manipulación de una forma más segura, ya que circulan unas magnitudes de tensión y corrientes muy elevadas y



**Figura 4.9 Montaje del balasto y flashlamp**  
peligrosas (Véase figura 4.9).

Se utilizó una fuente de alimentación de 60 V y 50 A (Figura 4.10), conectada al balasto a través de los conectores que se ven en la Figura 4.9. Para medir las ondas que genera el balasto y que llegan hasta la flashlamp, se empleó un osciloscopio (véase figura 4.10) con unas sondas de potencia de 500x (véase figura 4.12). Se midieron las tensiones que hay en la lámpara, la tensión en la entrada del transformador y en la salida del transformador.



**Figura 4.10 Osciloscopio**



**Figura 4.11 Fuente de  
alimentación**

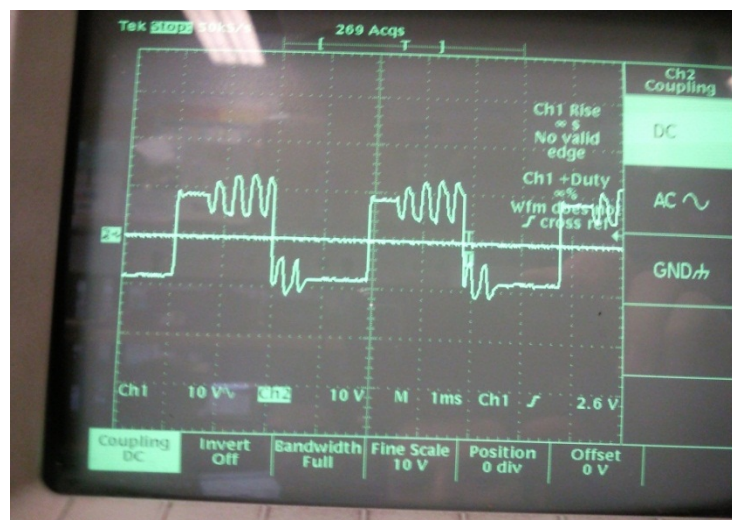


Para que se active el balasto y se pueda encender la flashlamp, es necesario aplicar una tensión de al menos 9 voltios, así como una corriente como mínimo de 4 amperios (con esta corriente no funciona de una forma estable), pero lo recomendable es aplicar una intensidad de alrededor 6 amperios.

Nada más encender la fuente de alimentación y limitar a 6,3 amperios la corriente que proporciona, se empieza a aumentar la tensión hasta llegar a los 9 Voltios, en este momento el balasto pasa de consumir 0 amperios de corriente a los 6,3 amperios de limite que le pusimos a la fuente. En este preciso momento comienza a funcionar la lámpara, no aceptando el balasto más tensión y estabilizándose alrededor de los 9 voltios. En este se puede variar la intensidad desde los 4 amperios hasta los 6,5 aproximadamente, teniendo en cuenta que si se disminuye de los 4 amperios



**Figura 4.12 Sonda de potencia del osciloscopio**



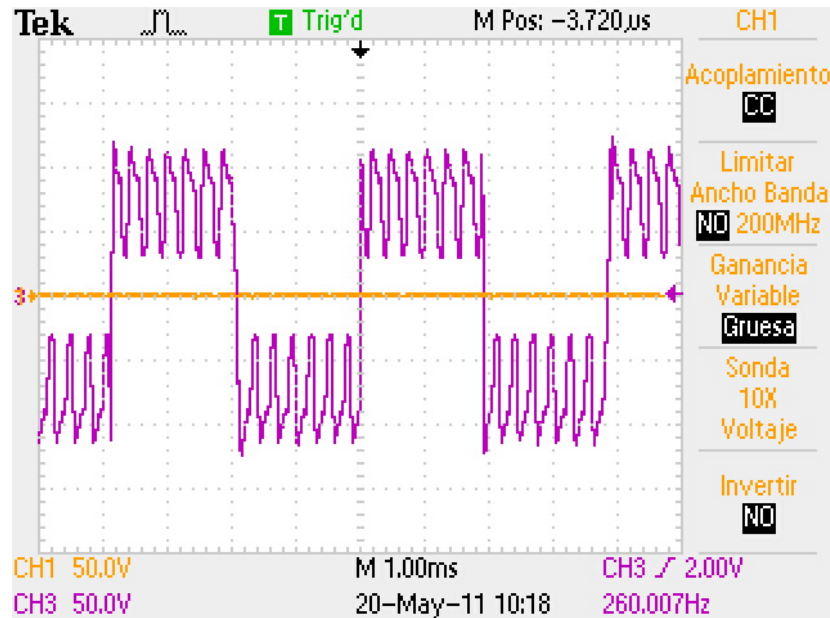
**Figura 4.13 Tensión entre los nornes de la flashlamp nada mas encenderse**

la lámpara deja de funcionar y si se aumenta la corriente se pone en riesgo el balasto.

Cuando se llega a los 9 voltios se produce el pico de tensión necesaria para disparar y encender la lámpara. Sin embargo, es preciso señalar que con las sondas disponibles en el laboratorio no se puede medir ya que este pico de tensión tiene unos valores de entre 20 y 30 KV y las sondas del laboratorio no están diseñadas para medir tal tensión.

Posteriormente, se puede observar en la figura 4.13 que entre los bornes de la lámpara aparece una tensión con una onda de forma cuadrada

con una frecuencia en torno a los 250 Hz y una oscilación o rizado tanto en la fase positiva como negativa de la onda. A medida que pasan los segundos esta onda cuadrada aumenta su amplitud hasta estabilizarse aproximadamente en 120 V (véase en la figura 4.14).

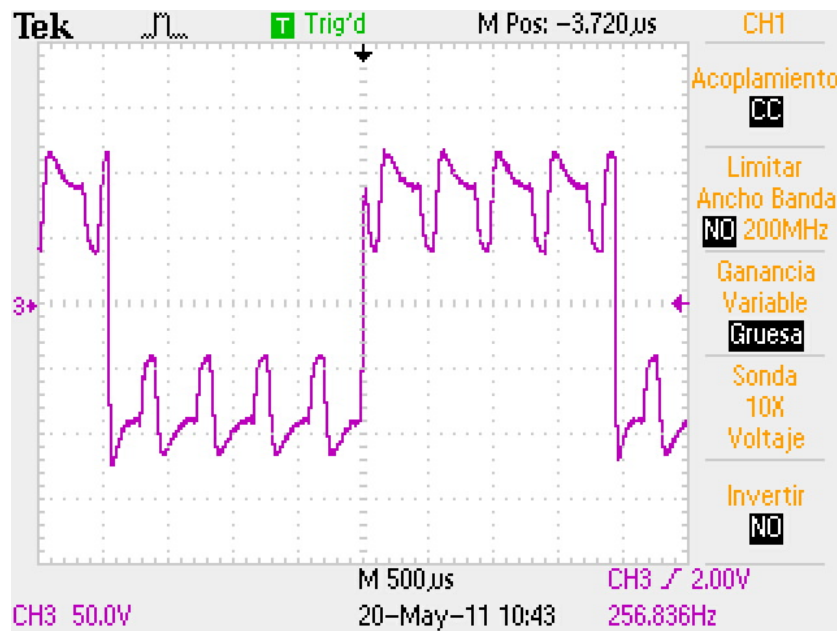


**Figura 4.14 Tensión entre los bornes de la flashlamp transcurrido unos segundos desde su activación.**

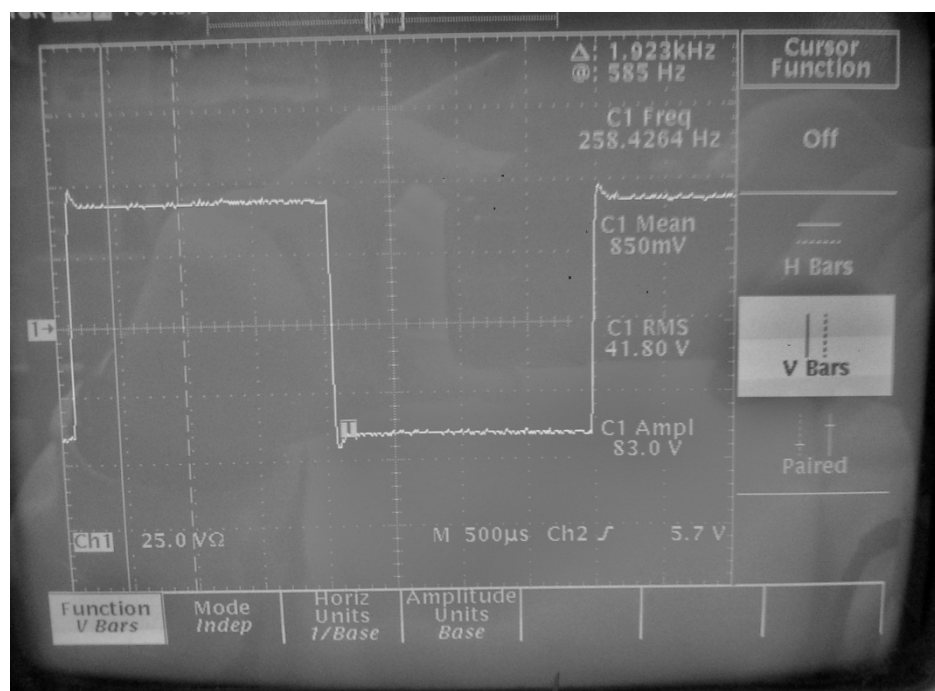
La oscilación que se presenta en la onda cuadrada tiene una frecuencia que depende de la corriente que se proporcione al balasto. A medida que aumenta la corriente disminuye la frecuencia de oscilación o de rizado (como se puede observar en la figura 4.14 con menos corriente de entrada al balasto tiene una mayor frecuencia de rizado que en la figura 4.15, en la cual hay una mayor corriente de entrada).

Pasado unos pocos minutos o varios, dependiendo con que corriente estamos alimentando al balasto, la onda cuadrada deja de tener el rizado y se estabiliza con la misma frecuencia anterior de 250 Hz, pero sin el rizado dependiente de la corriente. Únicamente tiene un pico al principio del semiperiodo (véase en la figura 4.16).

En este instante la corriente que requiere el balasto baja hasta los 3-4 amperios aproximadamente, no pudiendo modificar la corriente en este momento, aunque si la tensión. Si se disminuye la tensión por debajo de los 9 voltios, la lámpara se desactiva y si se aumenta por encima de los 16 Voltios, el balasto por seguridad deja de funcionar, y por consiguiente se desactiva la lámpara.



**Figura 4.15 Tensión entre los bornes de la flaslamp con una mayor corriente de entrada.**



**Figura 4.16 Tensión entre los bornes de la lámpara pasados un tiempo hasta estabilizarse**

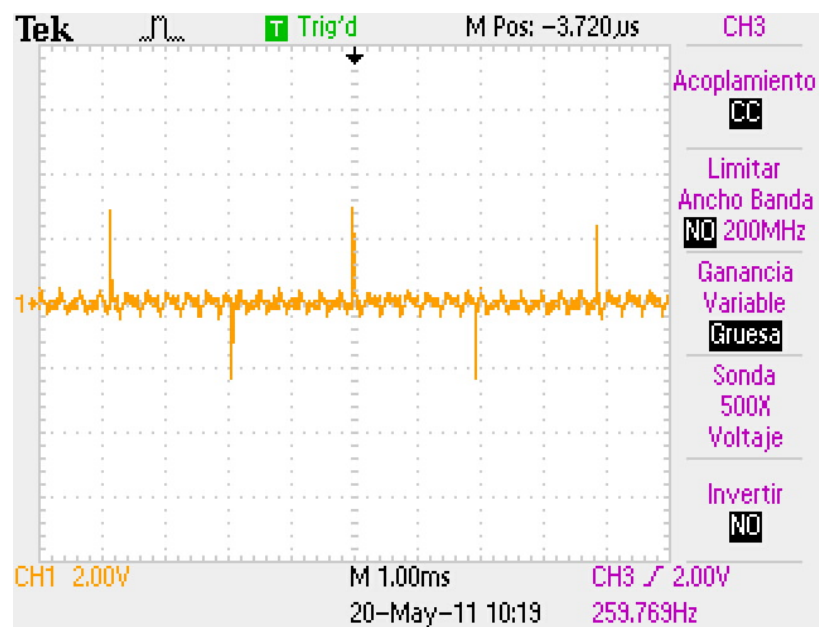
Para las siguientes medidas se han puesto las sondas del osciloscopio en el primario y en el secundario del transformador para comprobar la tensión de entrada del transformador (los puntos de medida se puede ver en la figura 4.17, así como las tensiones en las figuras 4.18 y 4.19), la forma de onda, y como se amplifica. Es necesario conocer la forma de onda de entrada al

transformador para estar en condiciones de determinar y fijar la tensión precisa para el buen funcionamiento de este transformador.

También se ha comparado la tensión en la flashlamp, con la tensión en el secundario y primario del transformador como se puede ver en la figura 4. 20. La salida del secundario del transformador está conectada con la flashlamp.

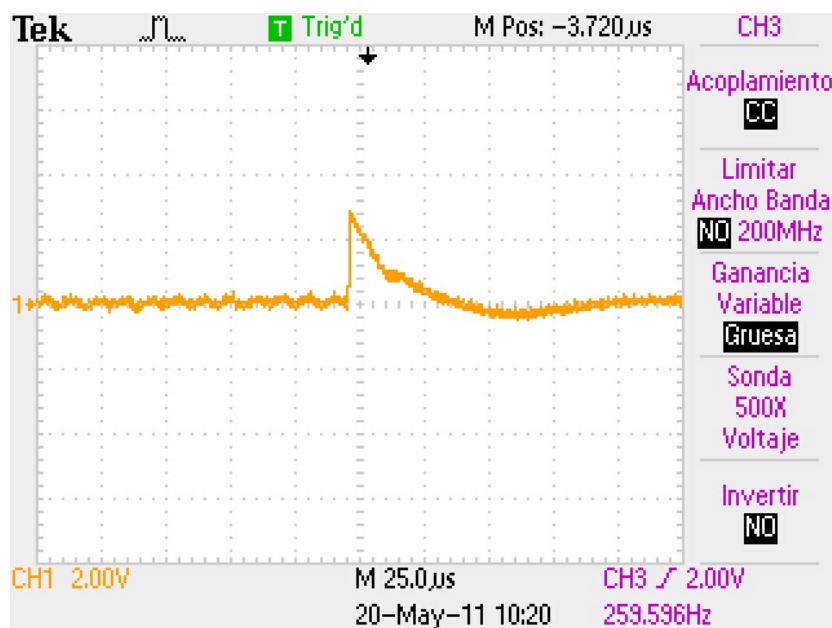


Figura 4.17 Puntos de conexiones de las sondas en *el primario y secundario del transformador*



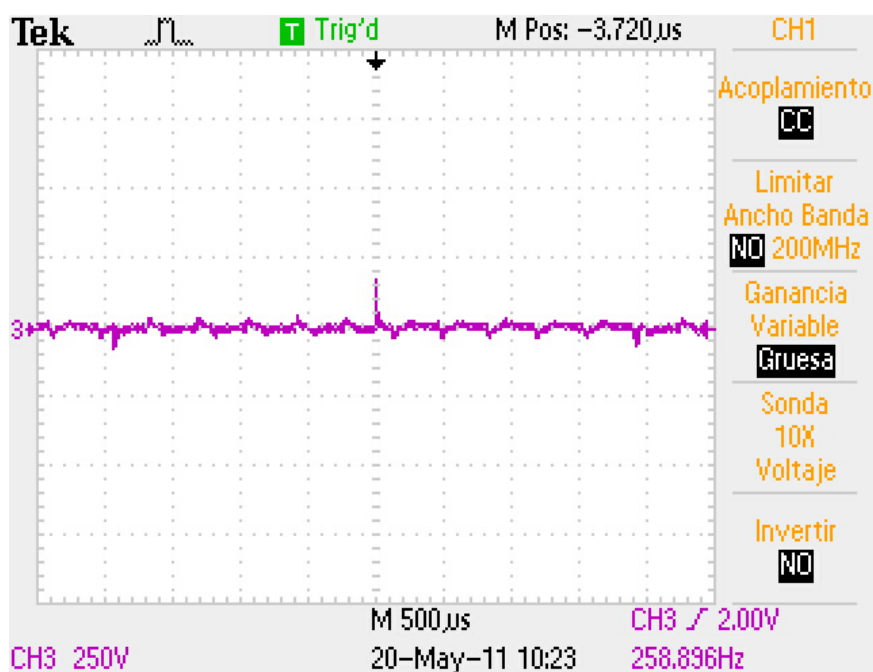
*Figura 4.18 Tensión en el primario del transformador de disparo*

Por su parte, en la figura 4.18 se muestra que tiene una frecuencia de aproximadamente 250-260 Hz (1 milisegundo por división horizontal), y con una amplitud de cada pulso aproximadamente de 3 Voltios. En cada periodo hay un pulso de tensión positiva y otro pulso de tensión negativa.



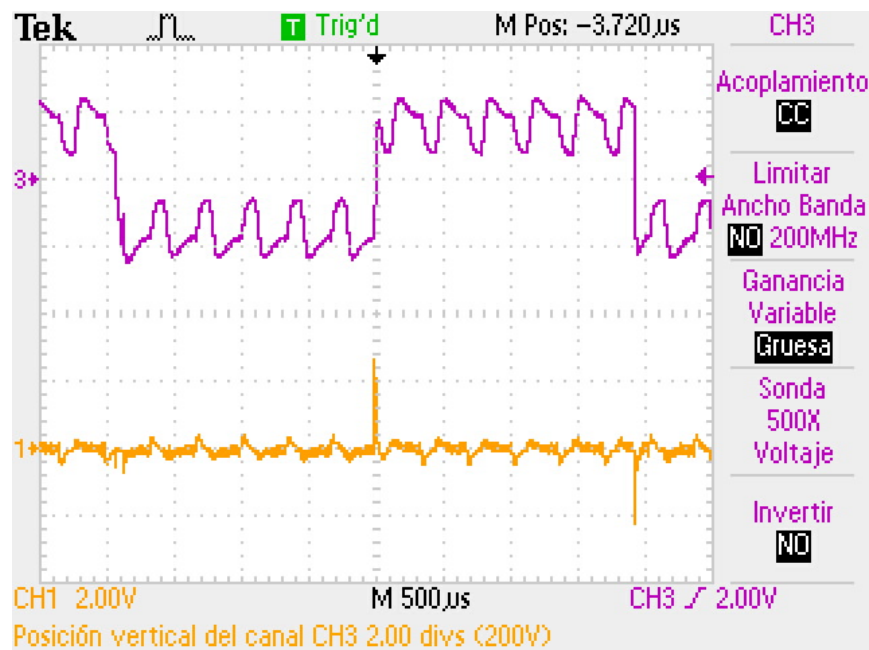
**Figura 4.18A Tensión en el primario del transformador de disparo**

En la figura 4.18A se puede ver un pulso de tensión positiva de la anterior figura (figura 4.18) ampliada (25 microsegundos por división). Se puede observar una subida casi totalmente vertical hasta los 3 Voltios y un descenso con una menor pendiente hasta volver a estabilizarse en 0 voltios.



**Figura 4.19 Tensión en el secundario del transformador de disparo**

En la figura 4.19 (250 Voltios por división en eje vertical y 500 microsegundos por división en el eje horizontal) se puede observar la tensión de salida del transformador de disparo. Si se compara con la de entrada al transformador se puede ver que es la misma forma de onda pero amplificada hasta los 40 Voltios aproximadamente.



**Figura 4.20 Tensión en la flashlamp (morado) y tensión en el primario del transformador de disparo**

Finalmente, la figura 4.20 muestra como los pulsos del transformador tienen la misma frecuencia que la onda cuadrada de la tensión en la flashlamp. También ilustra como el pulso positivo en el transformador coincide con el periodo de tensión positiva de la tensión en la lámpara y lo mismo con el pulso negativo.



### 4.1.3. Conclusión

Después de observar todo lo descrito anteriormente, se puede concluir que el balasto además de conseguir la activación de la flashlamp con un pulso de alta tensión, también consigue mantener la lámpara encendida durante el tiempo necesario generando una onda cuadrada con una frecuencia de trabajo de 250 Hz aproximadamente y una amplitud de 120 Voltios. Además, cuenta con las medidas de seguridad necesarias para evitar el incidente que se puede producir en aquellos casos en que la tensión de entrada o la corriente de entrada al balasto sean demasiado altas como para provocar el corte de la conexión.

En esta misma línea, se puede decir que tiene un disparo en serie, y un circuito de descarga capaz de mantener encendida la lámpara. Seguramente funcione con un circuito de descarga tipo simmer, ya que no sólo es una descarga de un tiempo determinado con desactivación posterior de la flashlamp, sino que se mantiene encendida la lámpara después del pulso de disparo gracias a la onda cuadrada que genera el balasto. En cualquier caso, considero necesario señalar que no es posible conocer completamente el circuito debido a que contiene circuitos integrados que no son comerciales y, consecuentemente, es imposible saber y determinar cuál es su función.



*Figura 4.21 Flashlamp activada por el balasto*

## 4.2. Diseño en PSIM

En este apartado se han diseñado los circuitos de acondicionamiento de la flashlamp obtenida del kit de faros de xenón del coche. Se deberá tener en cuenta lo aprendido después de los datos y mediciones obtenidas y expuestas en el apartado anterior.

Para diseñar este circuito se ha utilizado el programa de diseño electrónico PSIM. Esta herramienta está especializada en circuitos electrónicos de potencia, y con él se ha diseñado el esquemático de los distintos circuitos y se ha simulado, obteniendo las distintas formas de ondas de tensiones y corrientes.

Para realizar este diseño ha sido necesario sustituir el elemento de la flashlamp por una resistencia, debido a la falta de un elemento que simule a una flashlamp. La resistencia es de alta impedancia, ya que antes del encendido, la flashlamp tiene también una alta impedancia.

### 4.2.1. Diseño del circuito de disparo

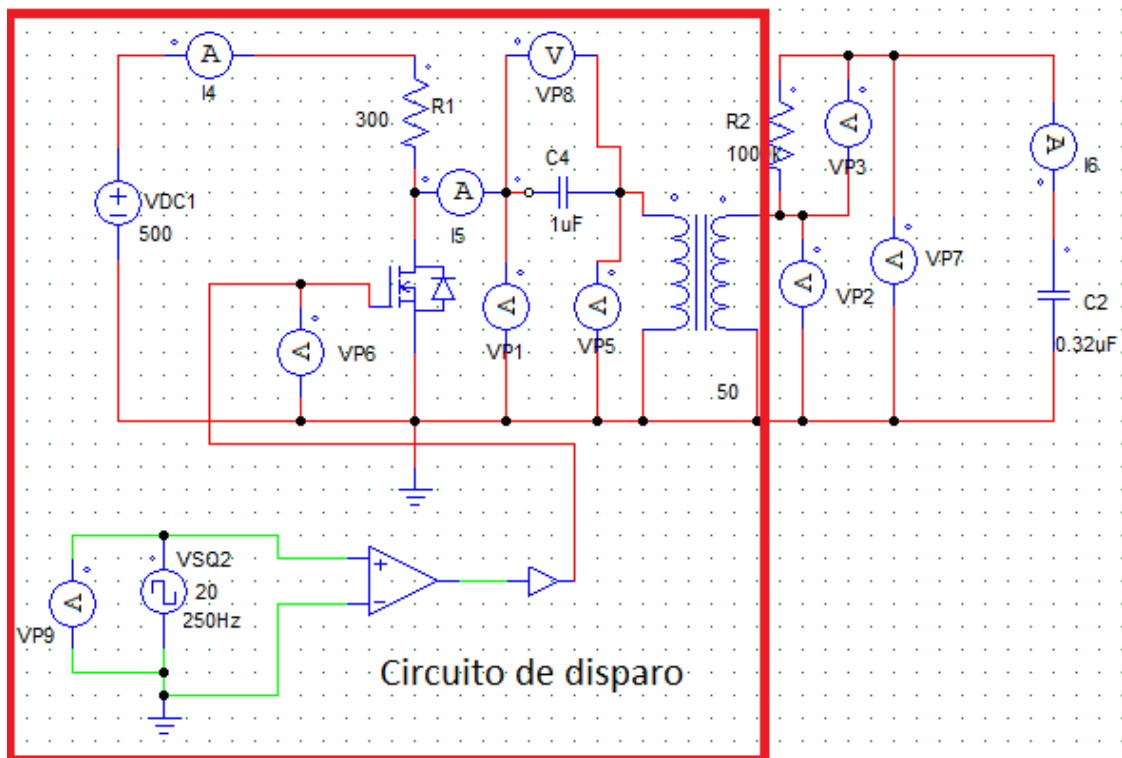
El diseño del circuito de disparo está restringido por la flashlamp obtenida del kit de faros de xenón. Esta lámpara está diseñada para un disparo en serie ya que no tiene ningún elemento alrededor de ella, ni ninguna barra entre los electrodos.

A partir de estos requisitos hay que diseñar un circuito de disparo en serie. También hay que tener en cuenta el transformador de disparo y su relación de transformación, así como la necesidad de alcanzar alrededor de 20 KV en los bornes de la flashlamp (aquí una resistencia).

El circuito de disparo en serie tiene un pequeño tiempo de retardo de disparo y una baja emisión de interferencias electromagnéticas. El funcionamiento de dicho circuito, una vez conectado todo, es el siguiente: en primer lugar, al ser una fuente de corriente continua, el condensador C4 se carga y se convierte en un circuito abierto, en segundo lugar, cuando se le aplica una tensión sobre la puerta del MOSFET (actúa como interruptor) este cierra el interruptor, lo que provoca que el condensador se descargue



generando una tensión a través del transformador de disparo (el transformador de disparo tampoco está en la biblioteca del PSIM por lo que simularemos con un transformador normal) y provocando un pulso de alta tensión sobre la flashlamp que la dispara y se enciende.



**Figura 4.22 Circuito de disparo**

Componentes:

$V_{DC1} = 500 \text{ V}$        $R_1 = 300 \Omega$       MosFET  
 $V_{SQ2} = 20 \text{ V a } 250 \text{ Hz}$        $C_4 = 1 \mu\text{F}$

El circuito de disparo se compone de una fuente de alimentación, cuyo valor en el esquemático es de 500 V, pero esa tensión es orientativa ya que en el circuito real se modificará en función de la impedancia de la flashlamp. La resistencia  $R_1$  tiene un valor de 300  $\Omega$  orientativos, ya que este valor en el circuito real será un potenciómetro debido a los diversos datos e información que no se tienen de la flashlamp.

El interruptor (MOSFET) es controlado por un generador de funciones. Este generador proporciona una onda cuadrada siempre positiva o 0, y en su semiperiodo de tensión positiva cierra el interruptor.

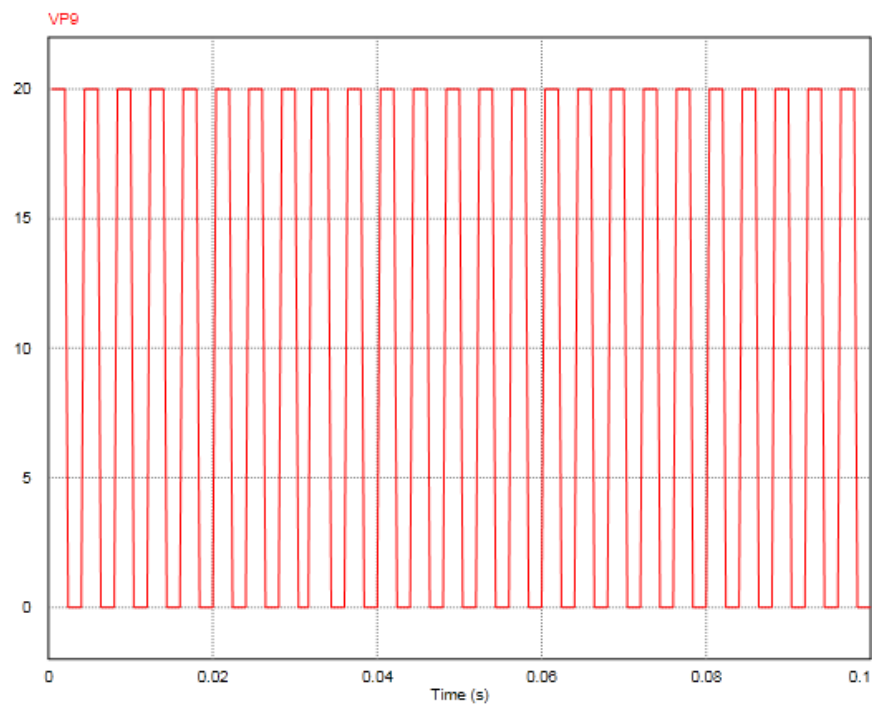
Por último, el condensador  $C_4$  es el encargado, como se explica anteriormente, de generar esa descarga para el encendido de la flashlamp. Este tiene un valor aproximado de 1  $\mu\text{F}$ , el cual se podrá modificar

posteriormente a la hora de realizar los experimentos, en caso de que no sea un valor adecuado.

### 4.2.1.1. Simulaciones en PSIM

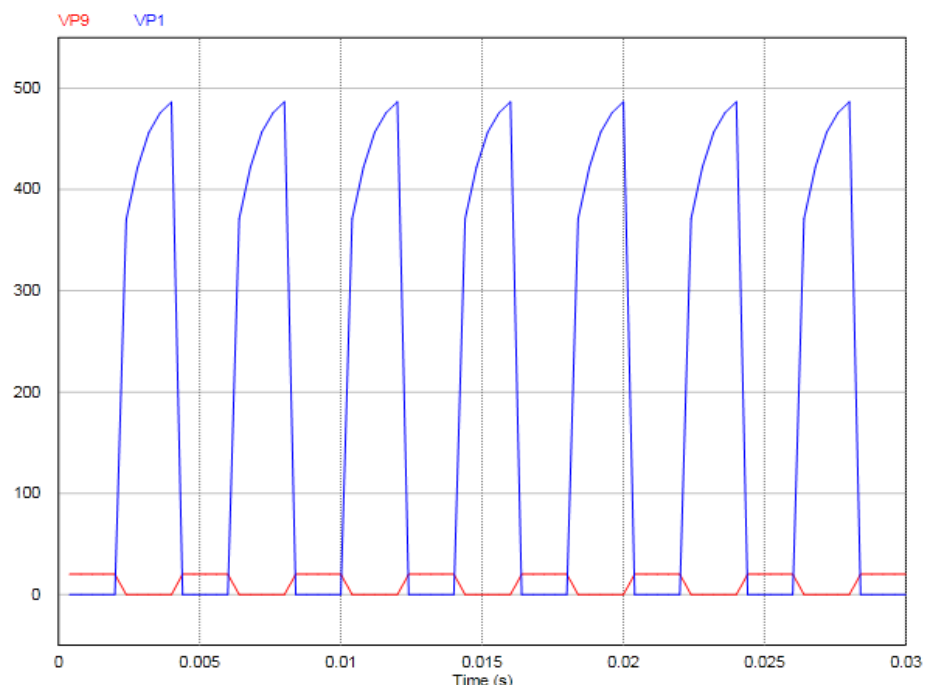
#### 4.2.1.1.1. Tensiones

##### •Tensión V9, control del MOSFET



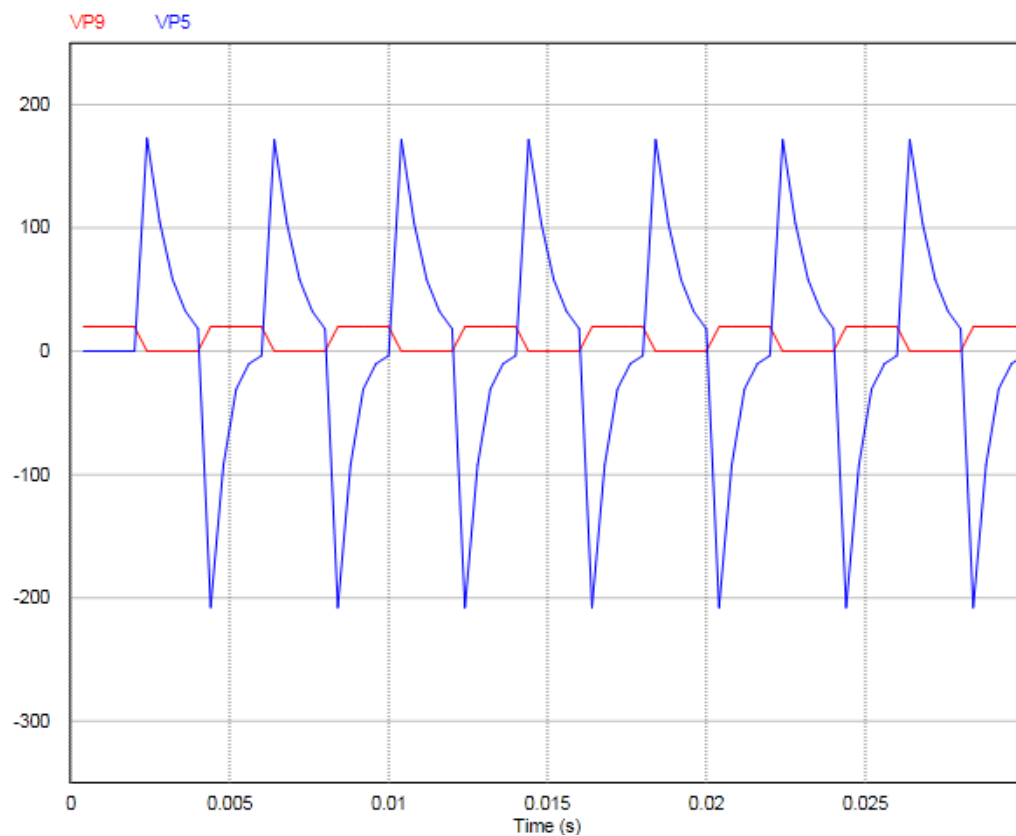
**Figura 4.23 Tensión V9**

##### •Tensión V1, Tensión entre la patilla positiva de C<sub>4</sub> y tierra.



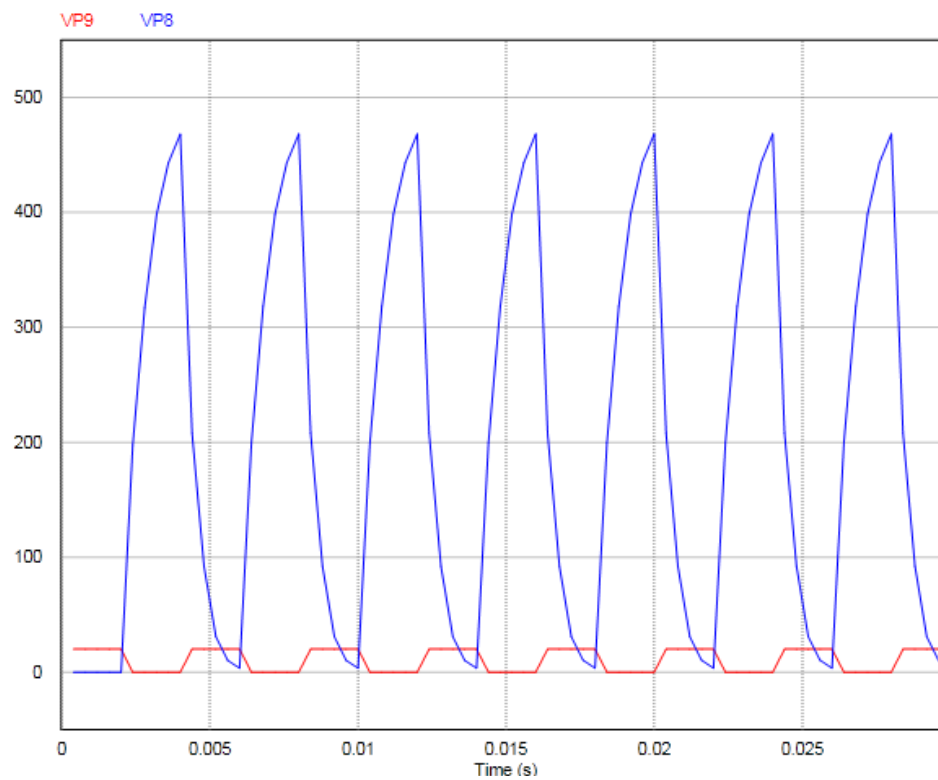
**Figura 4.24 Tensión V1 y tensión V9**

• Tensión V5 tensión en el primario del transformador



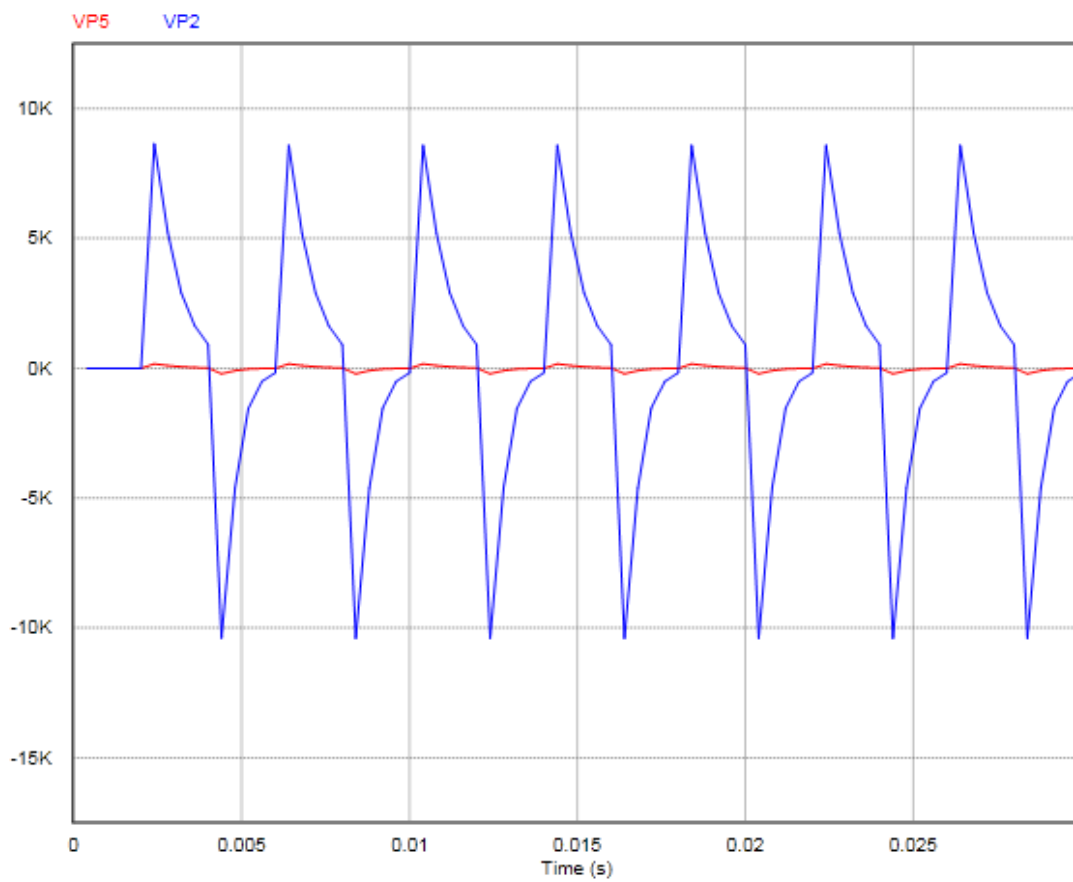
*Figura 4.25 Tensión V5 y tensión V9*

• Tensión V<sub>8</sub>, tensión en el condensador C<sub>4</sub>



*Figura 4.26 Tensión V8 y tensión V9*

• Tensión en el primario del transformador V5 y en el secundaria V2



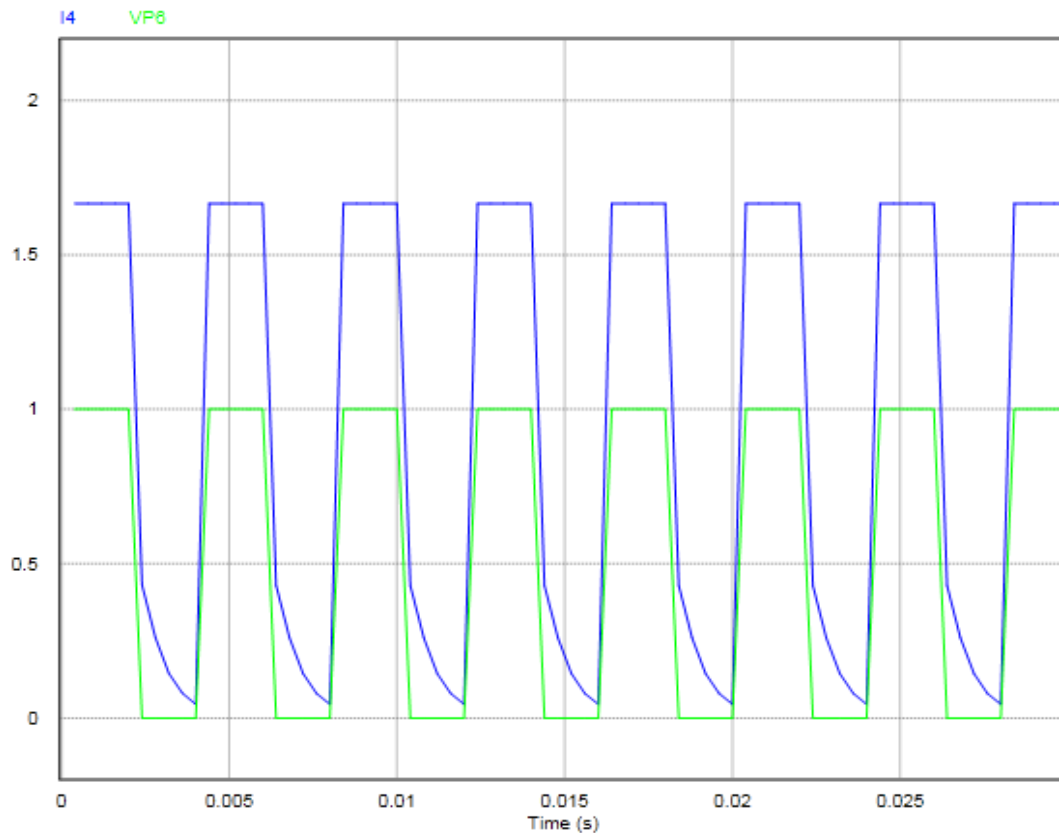
**Figura 4.27 Tensiones V2 y V5**

Observando las distintas tensiones, podemos deducir que cuando  $V_9$  está activo se cierra el interruptor, es decir, el MOSFET conduce entre el drenador y la fuente. Cuando esto ocurre, el condensador se descarga y se produce un pulso negativo que provoca el disparo de la lámpara (véase la figura 2.26 y 2.27). Cuando  $V_9$  deja de estar activo el condensador  $C_4$  se vuelve a cargar, en este caso proporcionando el pulso positivo para el disparo. Este pulso es algo menor que el pulso negativo. También se puede observar en la figura 2.29 que la corriente a través del condensador  $C_4$ , cuando el interruptor está abierto, tiene una corriente positiva, es decir, da el pulso positivo de disparo. Por su parte, cuando está cerrado el interruptor tiene una corriente negativa, es decir, da el pulso negativo de disparo.

Esto constituye una aproximación a lo que ocurre en la realidad, ya que simulamos con un transformador normal y no de disparo y con una resistencia en vez de la flashlamp, ya que la flashlamp tiene unas propiedades estando inactiva y otras estando encendida. En consecuencia, no se puede simular la fase después de la activación, por lo que sólo es posible proceder a la simulación del encendido de la lámpara.

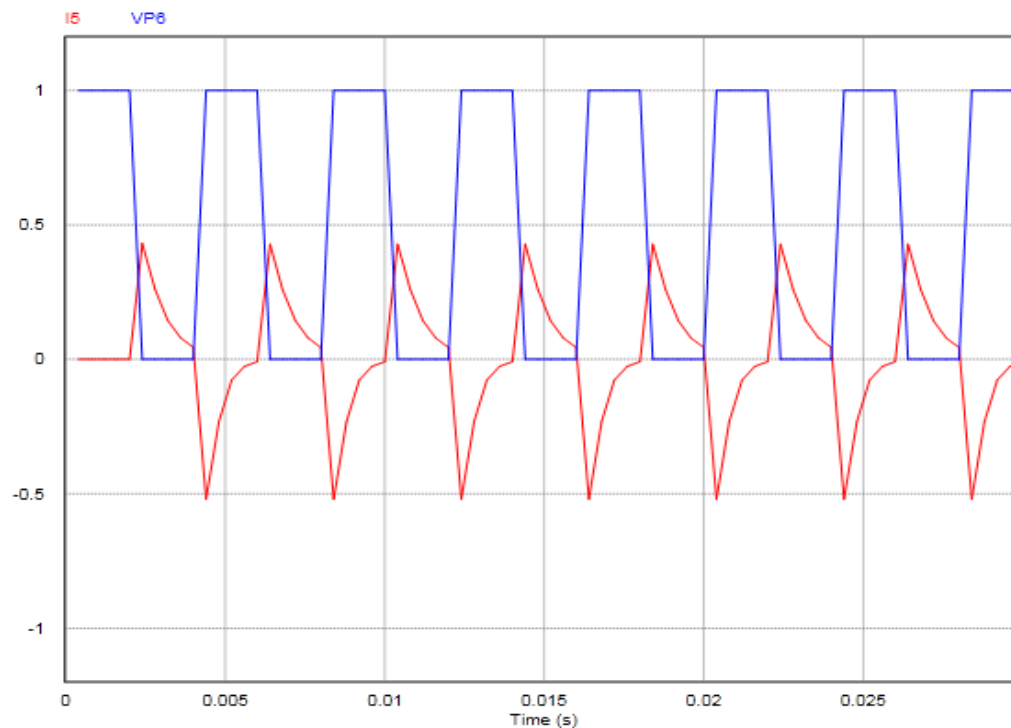
#### 4.2.1.1.2. Corrientes

- Corriente  $I_4$ , corriente proporcionada por la  $V_{DC1}$  y Tensión  $V_9$



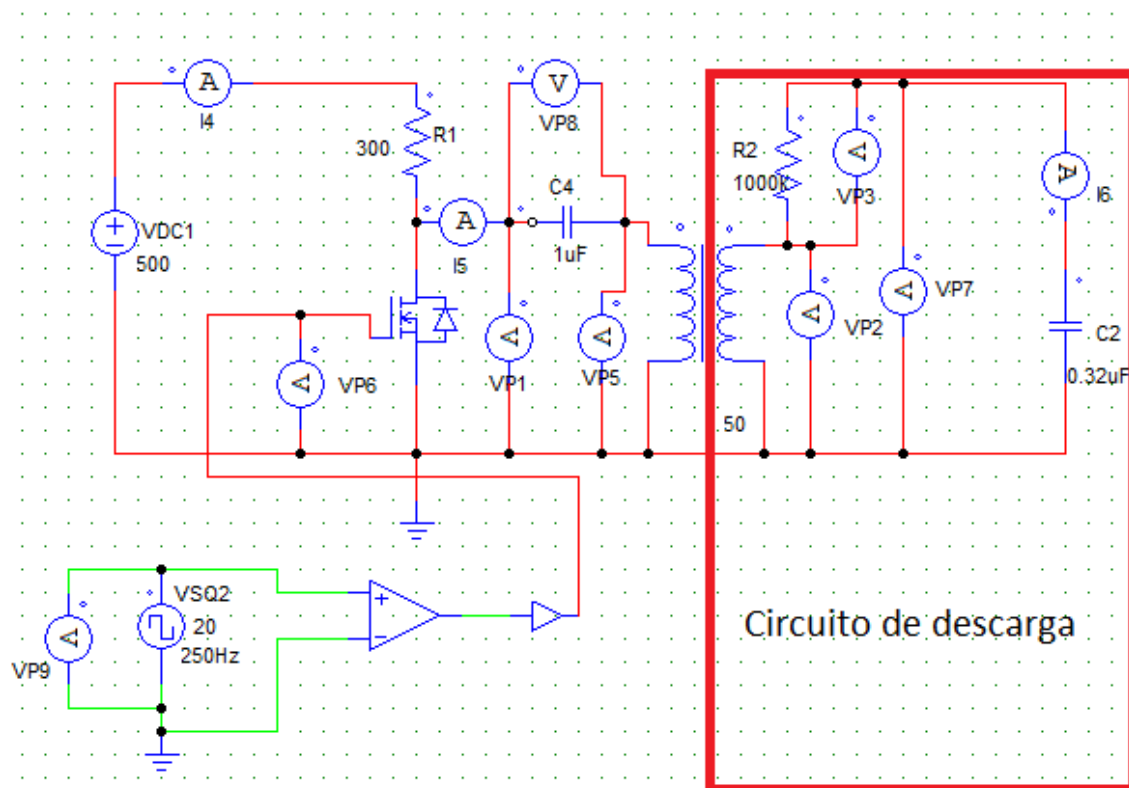
**Figura 4.28 Corriente  $I_4$  y tensión  $V_9$**

- Corriente  $I_5$ , corriente a través del condensador  $C_4$  y  $V_9$



**Figura 4.29 Corriente  $I_5$  y tensión  $V_9$**

## 4.2.2. Diseño del circuito de descarga



**Figura 4.30 Circuito de descarga**

### Componentes:

$R_2 = 1 \text{ M}\Omega$  (esta resistencia simula la flashlamp)

$C_2 = 0.320 \text{ nF}$  condensador de descarga

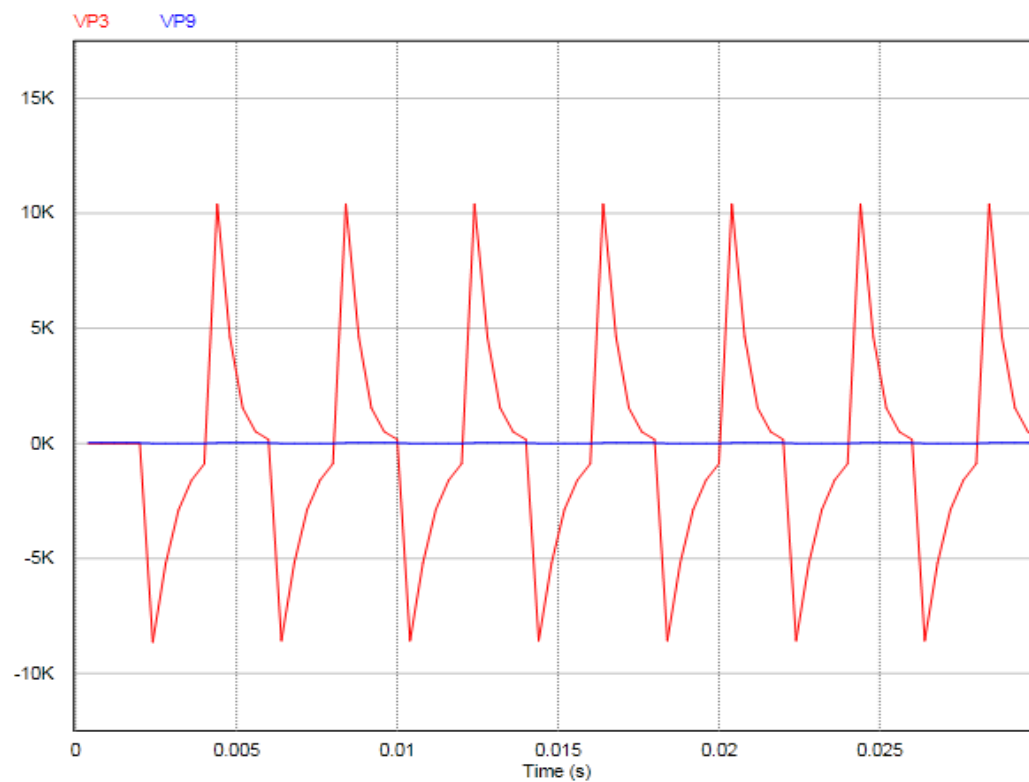
El circuito de descarga se compone simplemente de un condensador, ya que tiene que ser algo sencillo para poder probar, primero, el disparo de la lámpara y, segundo, que se mantenga encendida durante un pequeño periodo de tiempo.

A este circuito le podemos añadir una fuente de alimentación conectada en paralelo con el condensador  $C_2$  y un diodo para no permitir que haya corriente entrante a dicha fuente. Con esto se consigue que la lámpara se mantenga encendida durante un periodo de tiempo largo.

### 4.2.2.1. Simulaciones en PSIM

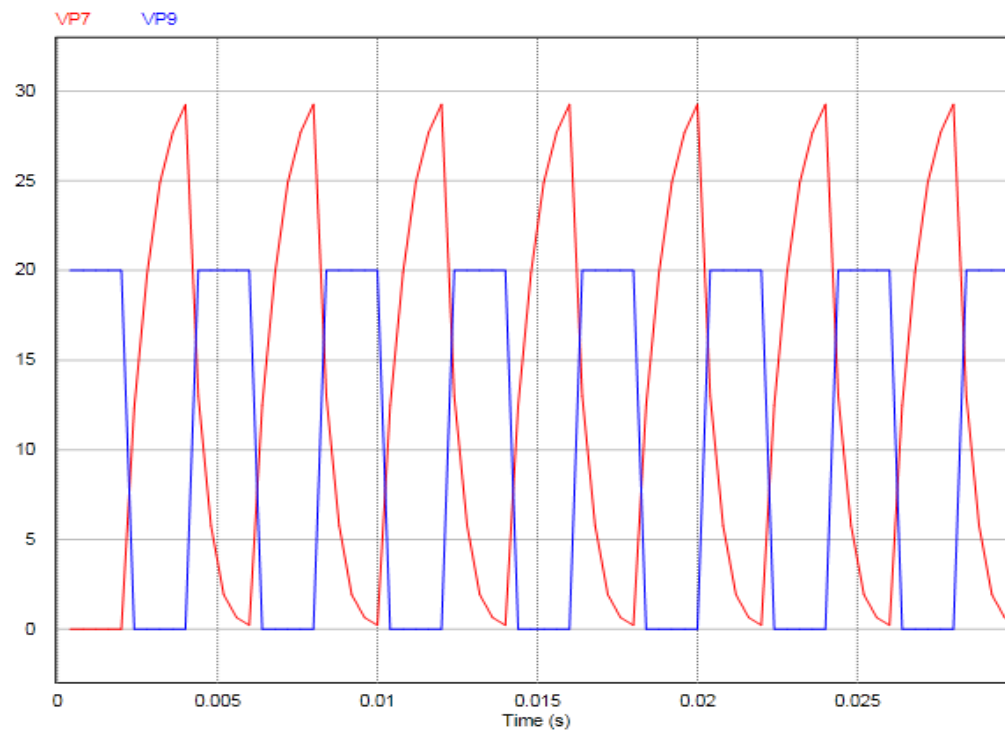
#### 4.2.2.1.1. Tensiones

- Tensión en la flashlamp o en la resistencia  $R_2$ , V3



*Figura 4.31 Tensión V3*

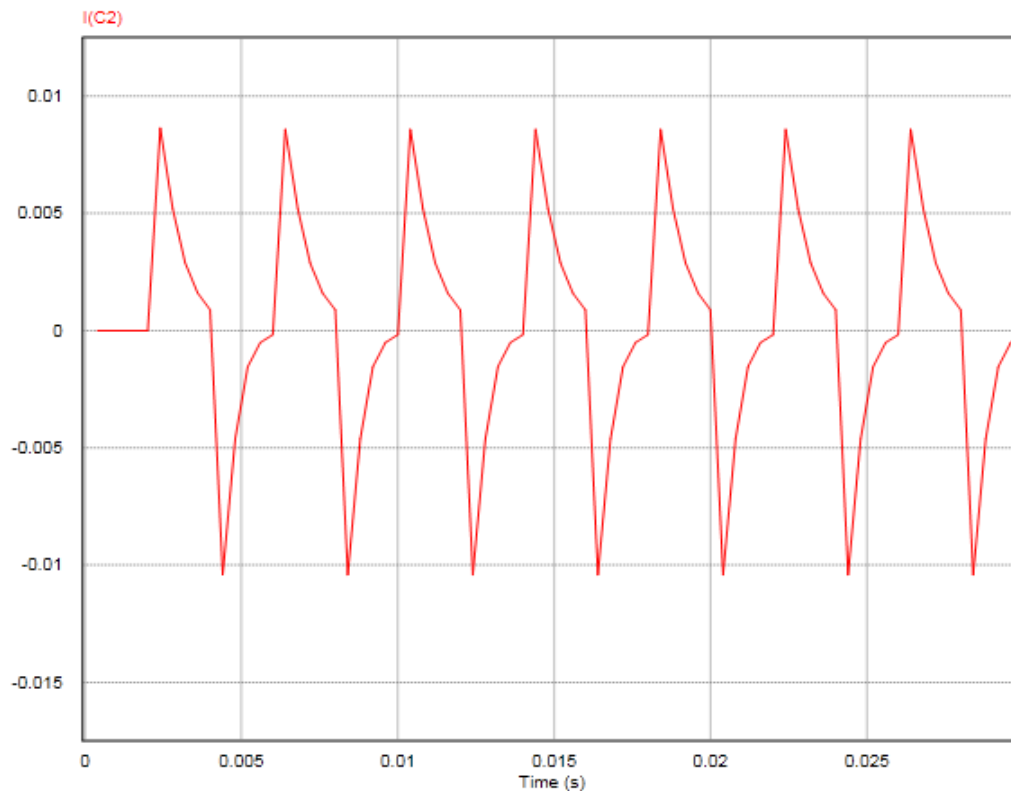
- Tensión en el condensador  $C_2$ , V7



*Figura 4.32 Tensión V7 y V9*

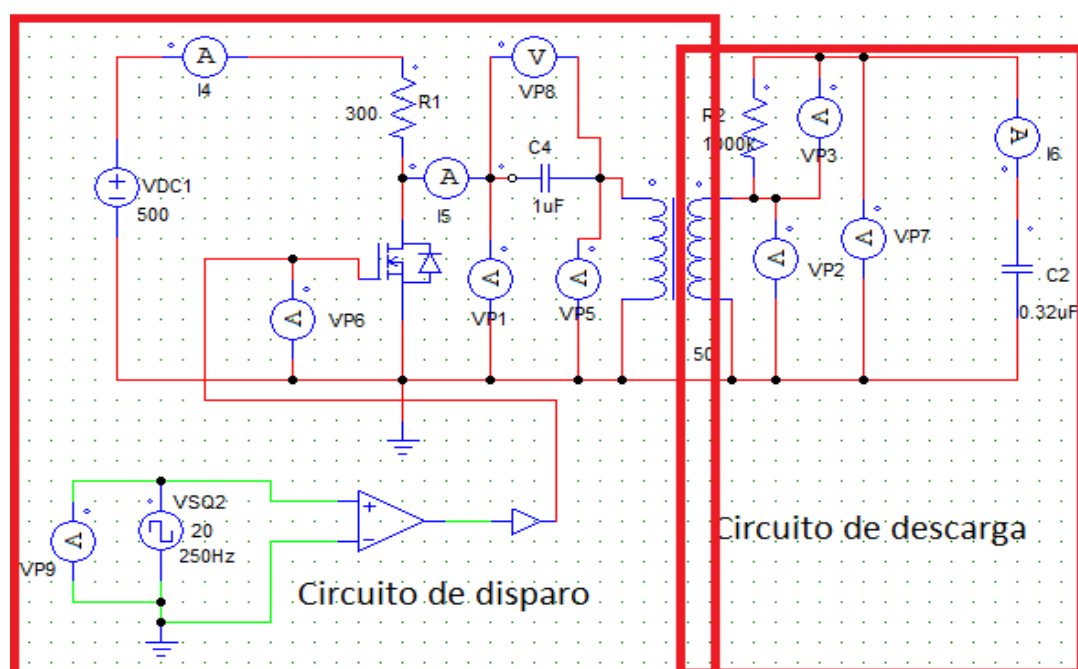
#### 4.2.2.1.2. Corrientes

- Corriente en el condensador  $C_2$ ,  $I_c$



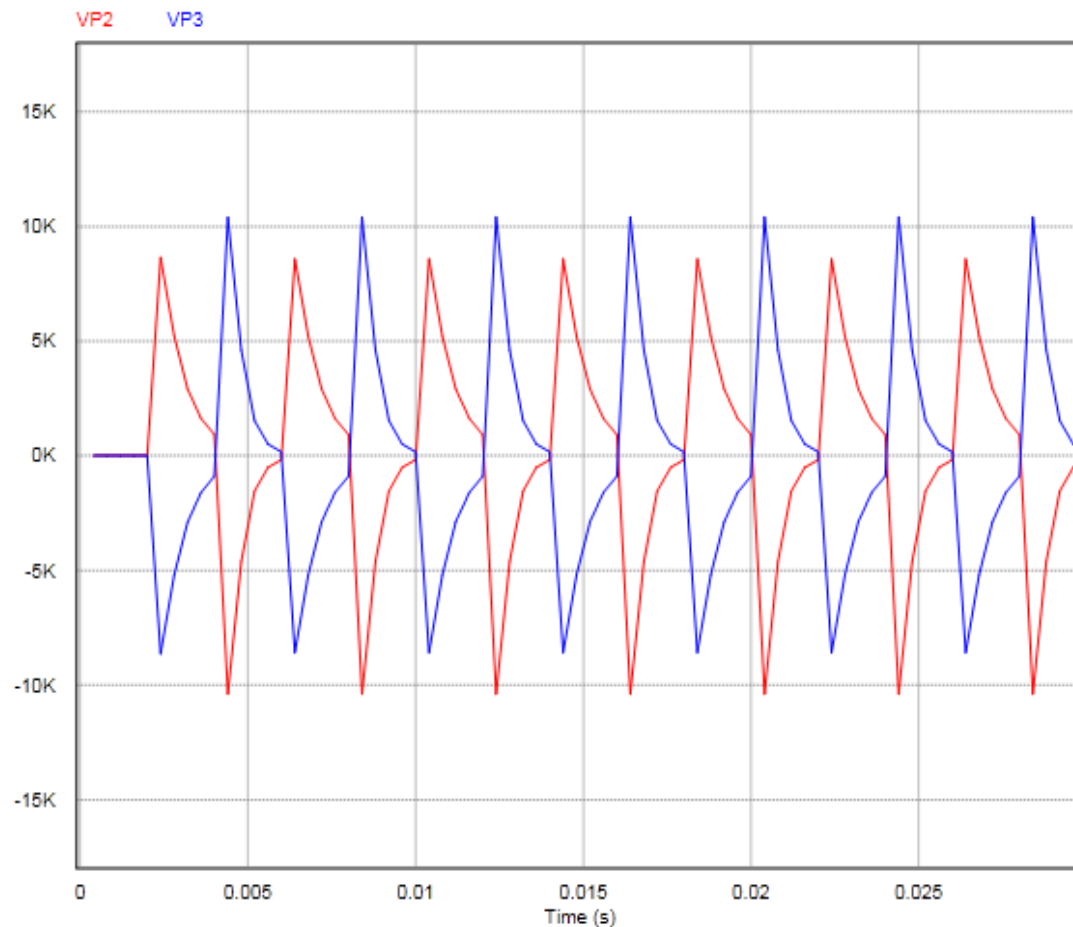
*Figura 4.33 Corriente  $I_{C2}$*

#### 4.2.3. Circuito completo y conclusiones



*Figura 4.34 Circuito completo para flashlamp*





**Figura 4.35 Tensión en el secundario del transformador V2 y tensión en la lámpara V3 invertida**

Después de observar todas las simulaciones, y comprobar los resultados en los puntos importantes, se puede decir que son unos datos satisfactorios, ya que se consigue los pulsos de alta tensión entre los bornes de la flashlamp para conseguir su activación. También se puede mejorar el circuito de descarga como se expresa en el apartado anterior y el circuito de disparo poniendo una red *snubber* en el interruptor, para que no haya picos de tensión y corriente en el momento de la conmutación.

Todos estos datos son orientativos debido a la falta de algunos elementos en el programa de simulación, como la flashlamp y el transformador de disparo. También son orientativos porque se desconocen las características específicas de la flashlamp y del transformador de disparo que se van a utilizar en la construcción del circuito..

## 4.3. Desarrollo de la placa del circuito

### 4.3.1. Construcción del circuito

Para la construcción del circuito se ha reutilizado el montaje realizado para el kit de faros de xenón del coche expuesto en el apartado 4.1. Este montaje se modificó para poner el circuito de disparo y descarga diseñado en el apartado 4.2 en lugar del balasto.

El circuito de disparo se realizará en una placa de puntos soldando los componentes (véase Figura 4.41.). Muchos de estos componentes serán reutilizados del balasto y del kit de faros de xenón. Otros serán adquiridos y comprados por la universidad.

Específicamente, los componentes utilizados son los expuestos a continuación:

- Potenciómetro de potencia o reóstato de 470  $\Omega$  y 400 W (Figura 4.36).
- Condensador 1 microfaradio y 320 nanofaradio
- Transistor de potencia: MOSFET IRF 830 con las características  
 $V_{DS} = 500 \text{ V}$ ,  $I_D = 5.9 \text{ A}$ ,  $R_{DS(ON)} = 1.5 \Omega$  (Figura 4.37)
- Diodo 4N1800
- Transformador de disparo (Figura 4.38)
- Flashlamp (Figura 4.39)
- Fuente de alimentación (Figura 4.11)
- Generador de funciones (Figura 4.39)

SYMBOL		QUICK REFERENCE DATA	
		$V_{DS} = 500 \text{ V}$ $I_D = 5.9 \text{ A}$ $R_{DS(ON)} \leq 1.5 \Omega$	
PINNING		SOT78 (TO220AB)	
PIN	DESCRIPTION		
1	gate		
2	drain		
3	source		
tab	drain		

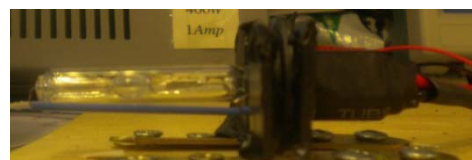
**Figura 4.37 MOSFET IRF 830**



**Figura 4.36 Reóstato**



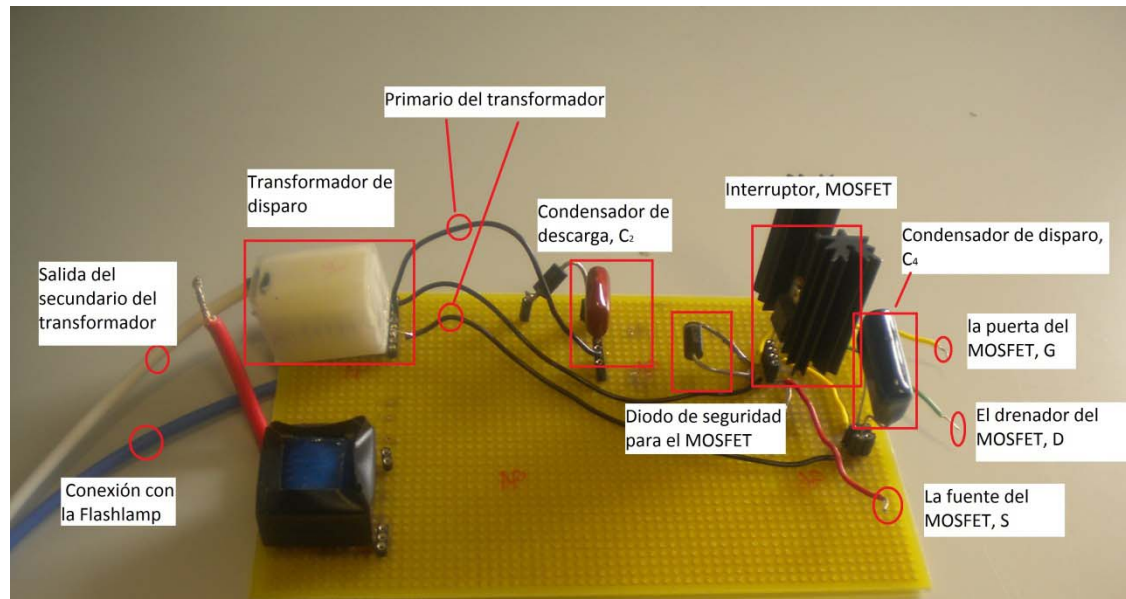
**Figura 4.38 Transformador de disparo**



**Figura 4.39 flashlamp**



**Figura 4.40 Generador de funciones**



**Figura 4.41 Montaje del circuito de disparo**

A partir del esquemático de la figura 4.3 se puede observar que es el mismo esquema electrónico, si bien con la diferencia de que hemos añadido un diodo entre la fuente y el drenador para apoyar al diodo interno del MOSFET IRF 830 (vease figura 4.37).

El positivo de la fuente de alimentación se conecta al reostato. Del reostato se conecta al drenador D del MOSFET, que a su vez está conectado al condensador  $C_4$ . A la fuente S del MOSFET va conectado el negativo de la fuente de alimentación y el negativo del generador de funciones. El positivo del generador de funciones se conecta a la puerta G del MOSFET. Los cables azul y blanco de la izquierda de la figura 4.41 van conectados a la flashlamp. El blanco conecta el secundario del transformador con la flashlamp, y el azul une la flashlamp con el condensador de descarga  $C_2$ . El negativo del secundario y del primario del transformador de disparo van conectados al negativo de la fuente de alimentación.

Al transistor MOSFET es necesario acoplarle un disipador térmico debido a la alta temperatura que adquiere este. Tanto el MOSFET como los condensadores y diodos están conectados a la placa mediante zócalos para poder cambiarlos si son inservibles o en aquellos casos en que se quiere probar con nuevos valores.

Instrumentos de medida que se emplearán:

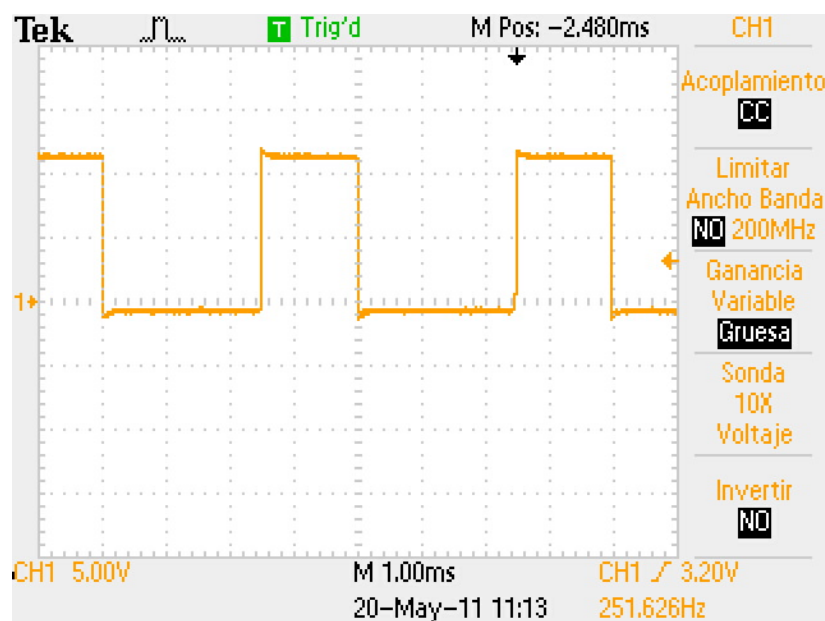
- Osciloscopio (Figura 4.10)
- Sondeas de potencia (Figura 4.12.)

### 4.3.2. Valores y medidas del circuito.

En primer lugar, y para la puesta en marcha y funcionamiento del circuito, es preciso establecer unas magnitudes de tensión y corriente, que proporcionen la fuente de alimentación, bajas (figura 4.42), todo ello para observar y conocer cómo actúa el circuito. Para cerrar y abrir el interruptor es necesario aplicar, como mínimo, una tensión entre 2 y 4 Voltios entre la puerta G y la fuente S ( $V_{GS}$ ), pero para una buena conmutación se le aplicará una  $V_{GS} \approx 10$  voltios, que es el máximo que puede proporcionar el generador de funciones (Figura 4.43). El reóstato tiene una impedancia de unos 100  $\Omega$ .



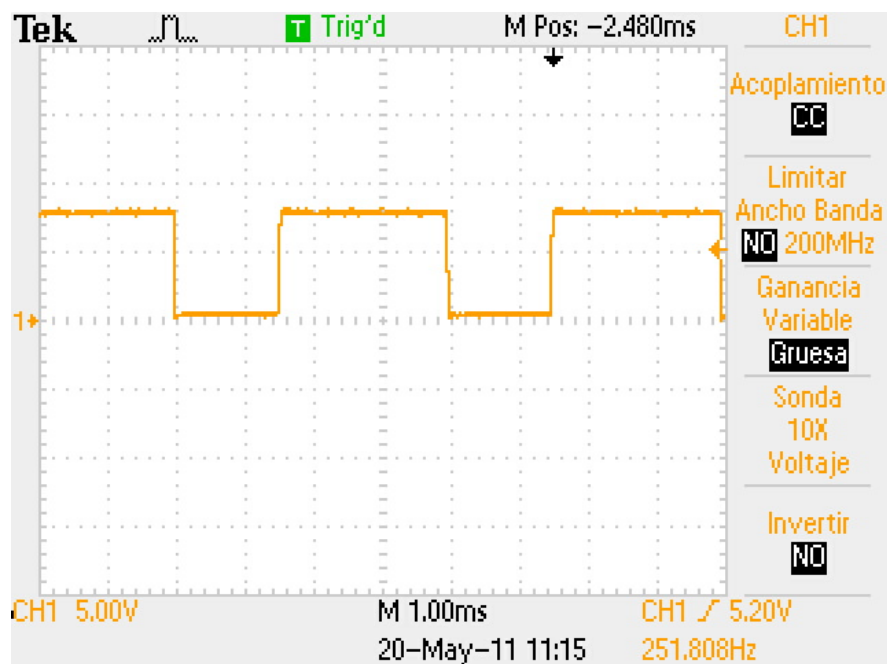
**Figura 4.42** Valores fuente de alimentación



**Figura 4.43** Tensión proporcionada por el generador de funciones o  $V_{GS}$

Como se puede observar en la figura 4.43 se le aplica al MOSFET una onda cuadrada sin semiciclo negativo, es decir, se proporciona pulsos de una amplitud aproximada de 10 V con una frecuencia de 250 Hz. Como en el apartado de simulación, el interruptor (MOSFET) durante el pulso positivo se cierra y durante el semiciclo a 0 voltios se comporta como un circuito abierto.

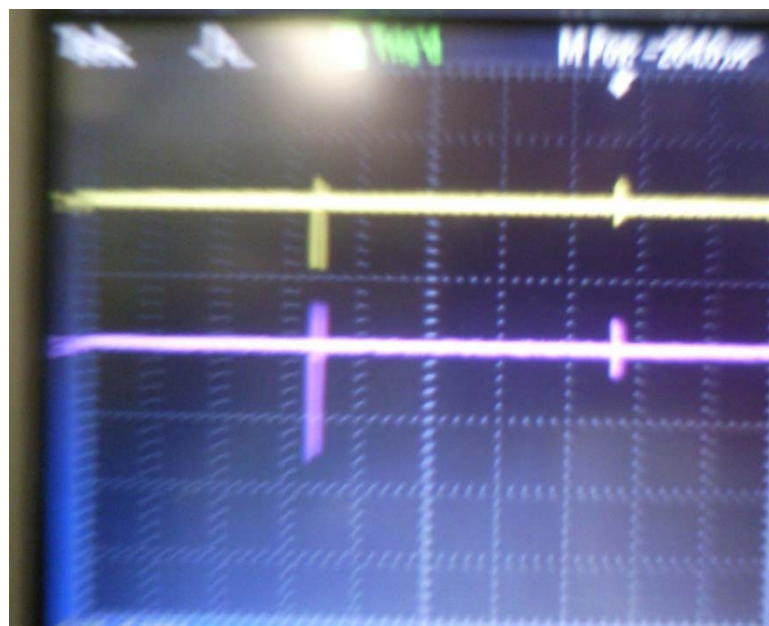
La tensión  $V_{DS}$  o la tensión ente entre el drenador del MOSFET y el polo negativo de la fuente es la siguiente:



**Figura 4.44 Tensión  $V_{DS}$**

La tensión  $V_{DS}$ , como se puede observar, tiene un valor de 8 voltios de amplitud de pulso (véase figura 4.44), y esta tensión es la que tiene el condensador  $C_4$  en su polo positivo y el polo negativo de la fuente de alimentación.

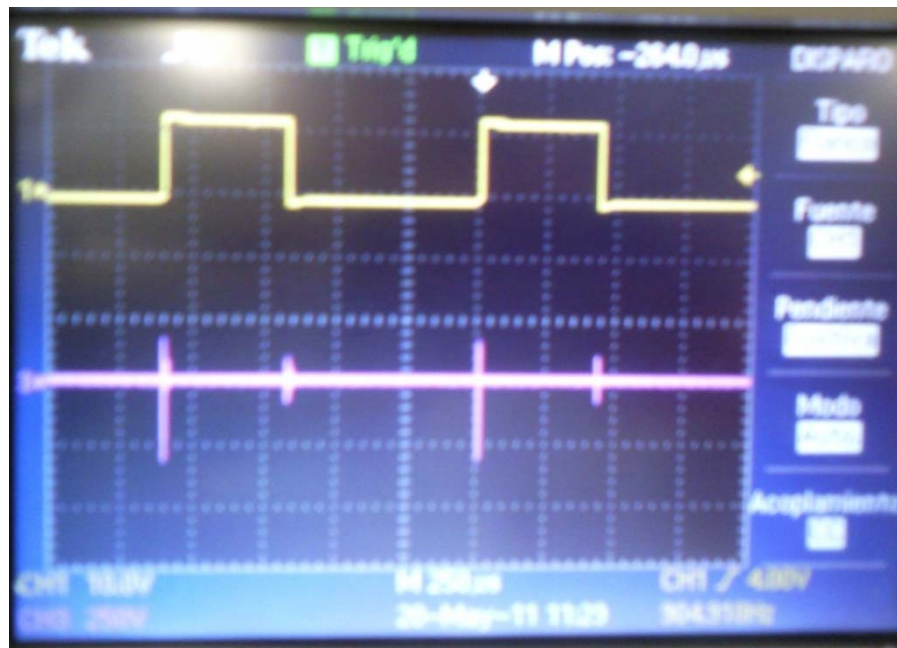
La tensión en el primario del transformador de disparo:



**Figura 4.45 Tensión en el primario del transformador (líneas en amarillo). Los parámetros son 5 Voltios por división.**

La figura 4.45 muestra el pulso en la entrada del transformador de disparo. Este pulso tiene una amplitud de casi 5 voltios, alimentando el circuito con 10 voltios aproximadamente.

Tensión en el secundario del transformador de disparo:



**Figura 4.46 Tensión en el secundario del transformador. Los parámetros del osciloscopio 250 Voltios por división**

En la figura 4.46 se puede observar como en el secundario se eleva la tensión hasta los 250 Voltios. Lo que quiere decir que el transformador ha elevado la tensión con una relación de transformación de 170 aproximadamente. Una relación similar a la que daba el transformador en el balasto del kit de faros de xenón. A la vista de lo expuesto, se puede deducir que el pulso que llega al transformador es válido para realizar un disparo. La tensión que cae en la flashlamp es aproximadamente la misma.

Al aumentar la tensión que proporciona la fuente de alimentación, se pudo conseguir hasta 3 KV de tensión en la flashlamp, pero como las sondas no pueden medir más de 1 o 2 KV, no se pudo continuar subiendo ya que además el circuito requería cada vez más corriente, lo que constituye un peligro para los aparatos y para las personas que estuvieran manejándolos. Además el circuito y en especial el MOSFET se sobrecalentaban en exceso a pesar de los disipadores térmicos. También se pudo comprobar que a frecuencias bajas el transformador tenía una relación de transformación



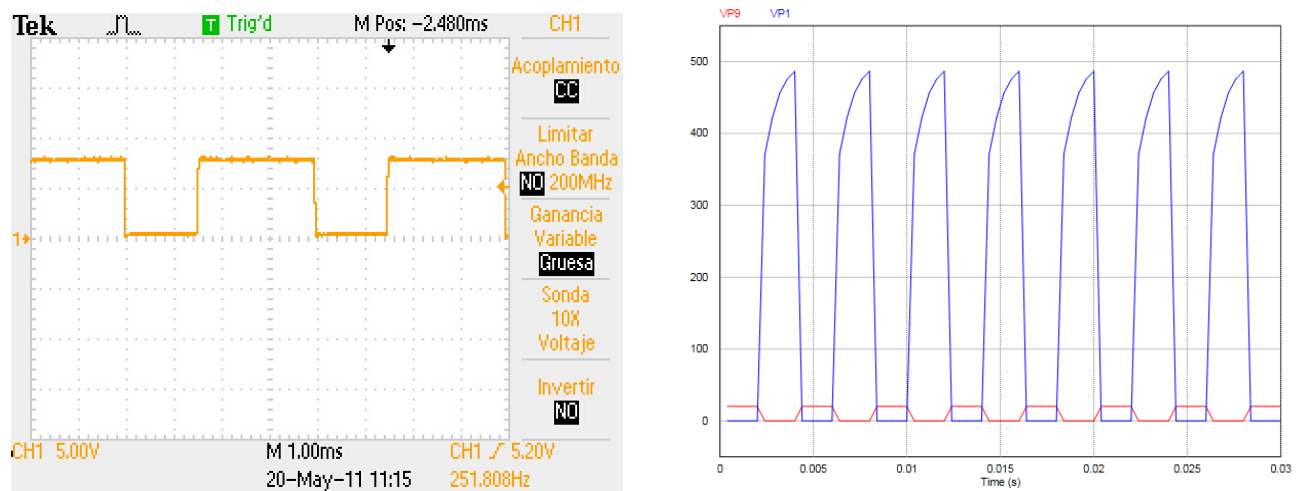
mayor que a altas frecuencias. Esto es lógico ya que la frecuencia óptima para el buen funcionamiento de una flashlamp está entre los 50 y 300 Hz.

### 4.3.3. Problemas surgidos y comparación.

#### 4.3.3.1. Comparación

Si comparamos los datos obtenidos en la simulación con el programa PSIM del circuito teórico con los datos conseguidos durante las prácticas en el laboratorio con el circuito real, podemos destacar los siguientes resultados:

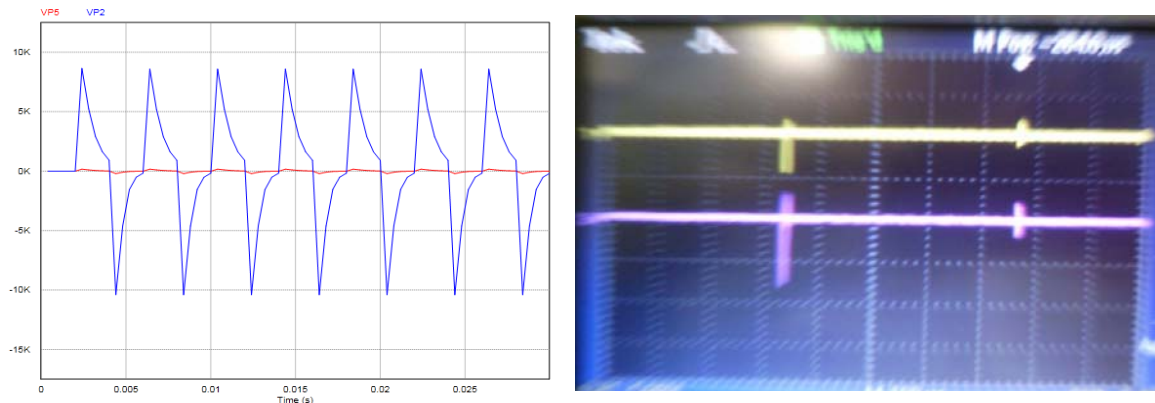
- Comparando la tensión  $V_{DS}$  o la tensión antes del condensador  $C_4$  :



**Figura 4.47 Comparación entre las tensiones  $V_{DS}$**

Si observamos las dos imágenes o las dos formas de onda, podemos decir que se diferencian en que la tensión  $V_{DS}$  en el circuito real es una onda cuadrada, mientras que en la simulación con PSIM la onda tiene una pendiente ascendente durante los primeros instantes, si bien posteriormente dicha pendiente disminuye progresivamente. Este cambio se explica por la influencia del condensador y también por el desconocimiento de las características de reactancia y capacitancia de la flashlamp.

- Comparando la tensión en el primario y en el secundario del transformador de disparo:



**Figura 4.48 Comparación entre las tensiones en el primario y secundario del**

Si se compara las tensiones en el primario y en el secundario del transformador se puede deducir que el pulso de disparo simulado tiene una duración mucho mayor que el pulso real. También el pulso negativo es mayor que el positivo en el circuito real y en el circuito simulado.

#### 4.3.3.2. Problemas surgidos

Uno de los problemas surgidos fue la dificultad de realizar la soldadura entre algunos elementos y la placa de puntos. En la fase de comprobación y medición del circuito en funcionamiento surgieron distintos problemas. El primero de todos ellos viene de la mano de la imposibilidad de obtener un ambiente seguro de trabajo, ya que se consiguen tensiones y corrientes elevadas, problema solventado con la utilización de cables totalmente aislados, y con mecanismos de corte de corriente en los distintos lugares de uso. El siguiente problema que surgió fue el funcionamiento del transformador de disparo, ya que este no es un transformador normal y no tenemos sus características eléctricas. Este transformador solo funciona con pulsos cortos de tensión, y si se le aplica un pulso mayor o una onda cuadrada o una onda sinusoidal el transformador no funciona, con lo que no actúa aumentando la tensión. Por este motivo no se pudo probar este transformador con otro tipo de ondas para conseguir algunas de sus características. Otro problema que se presentó fue el sobrecalentamiento del transistor, adquiriendo tal temperatura que afectaba a su rendimiento hasta su rotura. Este problema se solucionó acoplándole un disipador térmico en la espalda del transistor, aunque hay que decir que continuaba calentándose de forma considerable. Por último, uno de los mayores problemas que surgieron fueron las altas tensiones, ya que no se podía medir más de 1000 V.



## 5. Presupuesto

PRESUPUESTO DE PROYECTO						
<b>1.- Autor:</b> GUILLERMO MORETA MARTINEZ						
<b>2.- Departamento:</b> ELECTRÓNICA DE POTENCIA						
<b>3.- Descripción del Proyecto:</b>						
- Título ESTUDIO Y DISEÑO DE LAS FLASHLAMP Y SUS CIRCUITOS DE ACONDICIONAMIENTO						
- Duración (meses) 9						
Tasa de costes Indirectos: 20%						
<b>4.- Presupuesto total del Proyecto (valores en Euros):</b>						
2.000,00 Euros						
<b>5.- Desglose presupuestario (costes directos)</b>						
<b>PERSONAL</b>						
Apellidos y nombre	N.I.F. (no rellenar - solo a título informativo)	Categoría	Dedicación (hombres mes) <sup>a)</sup>	Coste hombre mes	Coste (Euro)	Firma de conformidad
MORETA MARTINEZ GUILLERMO		ingeniero superior	4,5	4.289,54	0,00	
		Ingeniero Técnico		2.694,39	0,00	
					0,00	
					0,00	
Hombres mes 4,5				Total	12.124,76	
$\frac{A}{B} \times C \times D$ <b>OTROS COSTES DIRECTOS DEL PROYECTO<sup>e)</sup></b>						
Descripción	Empresa	Costes imputable				
MATERIALES	NORAUTO	75,25				
COMPONENTES ELECTRÓNICOS	UC3M	10,00				
Total		85,25				
<sup>e)</sup> Este capítulo de gastos incluye todos los gastos no contemplados en los conceptos anteriores, por ejemplo: fungible, viajes y dietas,						
<b>6.- Resumen de costes</b>						
Presupuesto Costes Totales	Presupuesto Costes Totales					
Personal	12.125					
Amortización	0					
Subcontratación de tareas	0					
Costes de funcionamiento	85					
Costes Indirectos	2.442					
Total	14.652					

## 6. Conclusiones

Gracias a la obtención, análisis y comprensión de la información sobre las flashlamp se puede concluir que éstas se emplean cada vez más en la vida cotidiana, en la industria y en electro-medicina, sobre todo la utilización de las flashlamp para las nuevas aplicaciones con láseres. También es reseñable que, en la elección de una flashlamp, habrá que tener en cuenta muchos factores como el material de construcción, gas de relleno, etc. todo ello para poder obtener un rendimiento y unas propiedades óptimas para la aplicación requerida.

Después de la investigación de una flashlamp comercial y su circuito de acondicionamiento se puede deducir que aparte del diseño del circuito de disparo y descarga es muy relevante el diseño para la prevención del riesgo de rotura, sobrecalentamiento, sobretensión ya que tienen que soportar altas tensiones y corrientes necesarias para el buen funcionamiento de la lámpara. También que los faros de xenón para vehículos consumen una gran energía por lo que es necesario comprobar que la batería del vehículo sea capaz de soportar dicho consumo.

Tras el diseño e implementación de los circuitos de disparo y descarga se ha podido concluir que el encendido de una flashlamp sin saber sus características técnicas y eléctricas es de una gran dificultad. También se desprende del diseño que la activación de una flashlamp mediante un disparo en serie requiere una mayor tensión y equipamiento que para un disparo externo.

Para terminar, señalar que después de las distintas pruebas practicadas y cambios realizados en los circuitos de disparo y descarga se puede decir que el objetivo final de conseguir activar la flashlamp mediante el diseño de un circuito propio no se ha podido cumplir. Esto es debido a la falta de información sobre los distintos elementos reutilizados del kit de faros de xenón, ya que no es posible conocer sus distintas propiedades, pero también debido a la falta de instrumentos capaces de soportar tensiones superiores a 1000 V (como las sondas del osciloscopio) y el gran peligro de manejar tensiones y corrientes de gran magnitud sin disponer de los medios necesarios para la prevención de riesgos y accidentes.

## 7. Trabajos futuros

En futuros trabajos, ante la imposibilidad de cumplir el objetivo de conseguir encender una flashlamp con un circuito propio, el objetivo consistirá precisamente en la realización, diseño y construcción de un circuito capaz de encender una flashlamp. Lámpara que deberá comprarse a una casa especializada para poder tener acceso y conocer las características físicas y eléctricas, porque, como ha quedado patente con la realización de este proyecto, son muchas e insalvables las dificultades de trabajar con una flashlamp y transformador de disparo sin conocer sus propiedades. Para la elección de dicha flashlamp se podrá utilizar toda la información sobre las características expuestas de las flashlamp en este proyecto fin de carrera.

Otro trabajo futuro podría consistir en la posibilidad de ampliar el diseño del circuito, para poder controlar el disparo desde un ordenador e incluir esto en una estructura para la experimentación y pruebas con células fotovoltaicas.

También es recomendable trabajar en el análisis de otro sistema de flashlamp de fácil acceso distinto al de los faros de xenón de un coche, como por ejemplo en el flash de una cámara fotográfica, ya que el coche requiere una activación continua de la lámpara y el flash fotográfico solamente un pulso.

## 8. Bibliografía

- [1] <http://www.htds.fr/doc/optronique/sourcesLumineuses/LampesFlash.pdf>  
(consultada el día 04/01/2011).
- [2] [http://es.heraeus-noblelight.com/media/webmedia\\_local/media/pdf/af/The\\_Lamp\\_Book.pdf](http://es.heraeus-noblelight.com/media/webmedia_local/media/pdf/af/The_Lamp_Book.pdf)  
(consultada el día 04/01/2011).
- [3] <http://en.wikipedia.org/wiki/Flashtube> (consultada el día 09/05/2011).
- [4] Application Notes – Discharge Circuits de PerkinElmer.
- [5] Desing Consideratios for Triggering of Flashlamp de PerkinElmer.
- [6] [http://es.heraeus-noblelight.com/es/applications/arcflashlamps\\_1/af\\_application\\_overview.aspx](http://es.heraeus-noblelight.com/es/applications/arcflashlamps_1/af_application_overview.aspx)  
(consultada el día 16/05/2011).
- [7] [http://es.wikipedia.org/wiki/Flash\\_%28fotograf%C3%ADa%29](http://es.wikipedia.org/wiki/Flash_%28fotograf%C3%ADa%29) (Consultada el día 12/05/2011).
- [8] <http://www.vivetumoto.com/foros/luces-xenon-exploradoras-motos-463/faq-todo-sobre-luces-xenon-1660.html> (consultada el día 16/05/2011).
- [9] <http://www.mecanicavirtual.org/luces.htm> (consultada el día 16/05/2011).
- [10] [http://www.odontolaser.com.ar/index.php?option=com\\_content&task=view&id=15&Itemid=43](http://www.odontolaser.com.ar/index.php?option=com_content&task=view&id=15&Itemid=43) (consultada el día 16/05/2011).
- [11] <http://www.vidadigitalradio.com/laser-medicina/> (consultada el día 16/05/2011).

## **9. Anexos**

### **9.1. Datasheet del IGBT**



















## **9.2. Catálogo Hamamatsu flashlamps de xenón**